

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-039673

(43)Date of publication of application : 13.02.2003

(51)Int.Cl.

B41J 2/045

B41J 2/055

B41J 2/16

B41J 2/205

(21)Application number : 2001-264453

(71)Applicant : FUJI XEROX CO LTD

(22)Date of filing : 31.08.2001

(72)Inventor : NAKAMURA HIROFUMI  
OKUDA SHINICHI

(30)Priority

Priority number : 2001154913

Priority date : 24.05.2001

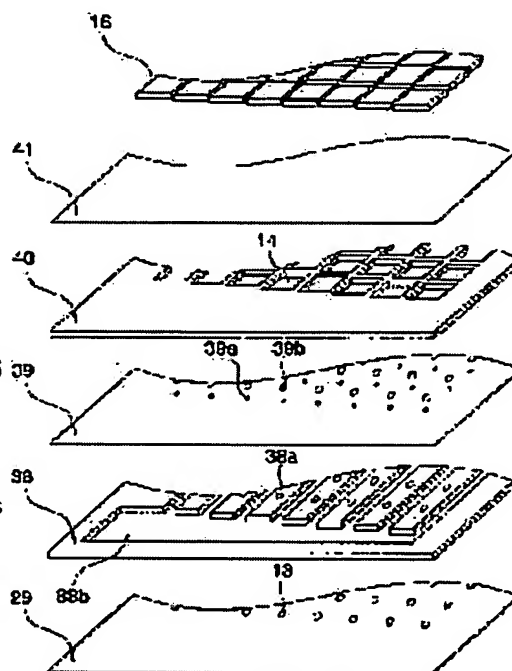
Priority country : JP

(54) INK JET RECORDING HEAD, ITS MANUFACTURING METHOD, INK JET RECORDER, AND METHOD FOR DRIVING INK JET RECORDING HEAD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an ink jet recording head which can discharge 'large drops' of a required size from the same nozzle while avoiding a head size increase and a cost increase, and can enhance the efficiency for discharging ink drops per unit area by realizing a 'nozzle density increase'.

SOLUTION: The ink jet recording head is provided with nozzles 13, pressure chambers 14 which communicate with nozzles 13, a diaphragm 41 which forms a part of wall faces of the pressure chambers 14, and piezoelectric actuators 16 joined to the diaphragm 41 correspondingly to pressure chambers 14. A pressure wave is generated into the ink filled in the pressure chambers 14 when a vibration element comprising the diaphragm 41 and the piezoelectric actuators 16 is deformed, whereby ink drops are discharged from nozzles 13. An acoustic capacity of the vibration element is set to be not smaller than  $2.0 \times 10^{-20}$  [m<sup>5</sup>/N] in the ink jet recording head.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

31.08.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-39673

(P2003-39673A)

(43) 公開日 平成15年2月13日 (2003.2.13)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ターミナル* (参考)
B 4 1 J	2/045	B 4 1 J	3/04
	2/055		1 0 3 A
	2/16		2 C 0 5 7
	2/205		1 0 3 X
			1 0 3 H

審査請求 有 請求項の数33 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2001-264453 (P2001-264453)

(22) 出願日 平成13年8月31日 (2001.8.31)

(31) 優先権主張番号 特願2001-154913 (P2001-154913)

(32) 優先日 平成13年5月24日 (2001.5.24)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社

東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72) 発明者 中村 洋文

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 奥田 真一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100079049

弁理士 中島 淳 (外3名)

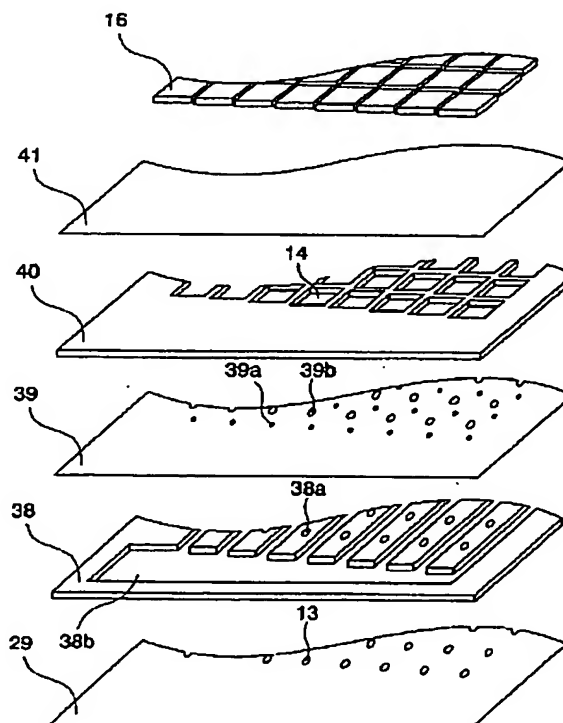
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インクジェット記録ヘッド及びその製造方法、インクジェット記録装置、並びにインクジェット記録ヘッドの駆動方法

(57) 【要約】

【課題】 ヘッドサイズの大型化やコストアップを回避しつつ、同一ノズルから所要サイズの「大滴」を吐出させ、且つ「ノズル密度増加」を実現して単位面積当たりのインク滴吐出効率を高めることができるインクジェット記録ヘッドを提供する。

【解決手段】 本インクジェット記録ヘッドは、ノズル13と、ノズル13に連通する圧力室14と、圧力室14の壁面の一部を形成する振動板41と、圧力室14に対応するように振動板41と接合された圧電アクチュエータ16とを備え、振動板41と圧電アクチュエータ16とから成る振動要素が変形して圧力室14内に充填されたインク内に圧力波を発生させることにより、ノズル13からインク滴を吐出させる。本インクジェット記録ヘッドでは、振動要素の音響容量が $2.0 \times 10^{-20}$  [m<sup>5</sup>/N]以上に設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ノズルと、該ノズルに連通する圧力室と、該圧力室の壁面の一部を形成する振動板と、前記圧力室に対応するように前記振動板と接合された圧電アクチュエータとを備え、前記振動板と前記圧電アクチュエータとから成る振動要素が変形して前記圧力室内に充填されたインク内に圧力波を発生させることにより、前記ノズルからインク滴が吐出するインクジェット記録ヘッドであって、

前記振動要素の音響容量が、 $2.0 \times 10^{-20} \text{m}^6/\text{N}$ 以上であることを特徴とするインクジェット記録ヘッド。

【請求項 2】 前記振動要素の音響容量が $5.5 \times 10^{-19} \text{m}^6/\text{N}$ 以下に設定されることを特徴とする、請求項 1 記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 3】 前記振動要素に印加される駆動電圧波形の制御にตอบสนองして、前記ノズルから吐出するインク滴の滴体積が多段階に変化することを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 4】 前記ノズルから吐出されるインク滴の最大滴体積が $15 \text{ p l}$ 以上であることを特徴とする、請求項 1 乃至 3 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 5】 前記 $15 \text{ p l}$ 以上のインク滴の吐出時に印加される前記駆動電圧波形が、前記圧力室の体積を収縮させる方向に電圧を印加してインク滴を吐出させる第 1 電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第 2 電圧変化プロセスとを含むことを特徴とする、請求項 4 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 6】 前記ノズルから吐出されるインク滴の最小滴体積が $4 \text{ p l}$ 以下であることを特徴とする、請求項 1 乃至 5 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 7】 前記 $4 \text{ p l}$ 以下のインク滴の吐出時に印加される前記駆動電圧波形が、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第 1 電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を圧縮する方向に電圧を印加し前記ノズル内に該ノズルの開口径よりも小さな径の液柱を形成し該液柱の先端からインク滴を分離させて微小なインク滴の吐出を行うための第 2 電圧変化プロセスとを含むことを特徴とする、請求項 6 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 8】 前記圧力室及び圧電アクチュエータの各平面形状におけるアスペクト比が夫々略 1 に設定されることを特徴とする、請求項 1 乃至 7 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 9】 前記圧力室の平面寸法（平面積）が $0.9 \sim 0.5 \text{ mm}^2$ に設定され、前記振動板及び圧電アクチュエータの厚みが夫々、 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 及び $15 \sim 40 \mu\text{m}$ に設定されていることを特徴とする、請求項 8 に

記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 10】 前記振動要素の平面形状が、略正三角形、略正方形、略正六角形又は略円形であることを特徴とする、請求項 1 乃至 9 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 11】 前記略正三角形、略正方形又は略正六角形の平面形状を有する振動要素は、相互に隣接する各 2 辺の接合部分が曲線状に形成されていることを特徴とする、請求項 10 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 12】 前記圧力室の幅を $W$ 、前記圧力室の中心と前記圧電アクチュエータの駆動部の中心との位置ずれ量を $\delta$ 、前記圧電アクチュエータの幅を $W_p$ とすると、次式

$$W_p \leq (W - 2\delta) \text{ 又は } W_p \geq (W + 2\delta)$$

を満足することを特徴とする、請求項 8 乃至 11 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 13】 前記圧力室の幅を $W$ 、前記圧力室の中心と前記圧電アクチュエータの駆動部の中心との位置ずれ量を $\delta$ 、前記圧電アクチュエータの幅を $W_p$ とすると、次式

$$0.9(W - 2\delta) \leq W_p \leq (W - 2\delta)$$

を満足することを特徴とする、請求項 8 乃至 11 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 14】 前記振動要素の音響容量が前記圧力室の音響容量より大きく設定されることを特徴とする、請求項 1 乃至 13 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 15】 前記圧力室内で発生する圧力波の固有周期を $T_c$ 、前記振動要素及び圧力室の合成音響容量を $c_c$ 、前記振動要素のイナータンスを $m_o$ とすると、次式 $m_o < 2.5 \times 10^{-4} T_c^2 / c_c$  [ $\text{kg}/\text{m}^4$ ]

を満足することを特徴とする、請求項 1 乃至 14 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 16】 前記ノズルから吐出したインク滴が、 $600 \text{ dpi}$ 以下の記録解像度で記録媒体上に着弾することを特徴とする、請求項 1 乃至 15 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 17】 前記圧力室内に発生する圧力波の固有周期が $15 \mu\text{s}$ 以下に設定されることを特徴とする、請求項 1 乃至 16 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 18】 前記圧電アクチュエータが、前記圧力室に相当する領域に配置された駆動部と、前記圧力室の外壁に相当する領域に配置された電極パッド部と、前記駆動部及び電極パッド部の双方を連結するブリッジ部とを備えることを特徴とする、請求項 1 乃至 17 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 19】 前記ブリッジ部が、前記駆動部の中心から離れた位置に連結されることを特徴とする、請求項 18 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 20】 前記ノズルがマトリクス状に 2 次元配列されることを特徴とする、請求項 1 乃至 19 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 21】 前記圧力室及び振動要素がマトリクス状に 2 次元配列されることを特徴とする、請求項 1 乃至 20 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 22】 前記圧電アクチュエータが複数配列された圧電アクチュエータ領域の外周部を取り囲むようにダミーパターンが配設されることを特徴とする、請求項 21 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 23】 前記ダミーパターンが、前記圧電アクチュエータ領域の内部における前記圧電アクチュエータの相互間に配設されることを特徴とする、請求項 21 又は 22 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 24】 前記圧電アクチュエータの周囲を取り囲む溝を有し、該溝の幅が、全ての圧電アクチュエータの周囲で略同じに設定されることを特徴とする、請求項 21 乃至 23 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 25】 信号ラインが形成された配線基板を有し、該配線基板が、マトリクス状に 2 次元配列された前記圧電アクチュエータの上方を覆う位置に配置され、前記圧電アクチュエータと配線基板とがバンプを介して電気的に接続されることを特徴とする、請求項 20 乃至 24 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 26】 前記バンプが、導電性のコア材と、該コア材の外周部に被膜した接合材とによって構成されることを特徴とする、請求項 25 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 27】 前記コア材が半球状に形成されることを特徴とする、請求項 26 に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 28】 前記配線基板が樹脂基材及び金属導体を含むことを特徴とする、請求項 25 乃至 27 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 29】 前記ノズルを形成する部材が樹脂フィルムで構成されていることを特徴とする、請求項 1 乃至 28 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッド。

【請求項 30】 請求項 1 乃至 29 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッドを製造する製造方法であって、前記圧電アクチュエータを、サンドブラスト加工でパターンニングすることを特徴とするインクジェット記録ヘッドの製造方法。

【請求項 31】 請求項 1 乃至 29 の内の何れか 1 項に記載のインクジェット記録ヘッドを備えていることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項 32】 ノズルと、該ノズルに連通する圧力室と、該圧力室の壁面の一部を形成する振動板と、前記圧力室に対応するように前記振動板と接合された圧電アクチュエータとを備え、前記振動板と前記圧電アクチュエータとから成る振動要素が変形して前記圧力室内に充填されたインクを圧縮することにより、前記ノズルからインク滴が吐出するインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動方法において、

前記振動要素の音響容量を  $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$  以上に設定し、

前記振動要素に、前記圧力室の体積を収縮させる方向に電圧を印加してインク滴を吐出させる第 1 電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第 2 電圧変化プロセスとを含む駆動電圧波形を印加することによって 15 p l 以上のインク滴を吐出することを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 33】 ノズルと、該ノズルに連通する圧力室と、該圧力室の壁面の一部を形成する振動板と、前記圧力室に対応するように前記振動板と接合された圧電アクチュエータとを備え、前記振動板と前記圧電アクチュエータとから成る振動要素が変形して前記圧力室内に充填されたインクを圧縮することにより、前記ノズルからインク滴が吐出するインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動方法において、

前記振動要素の音響容量を  $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$  以上且つ  $5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$  以下に設定し、

前記振動要素に、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第 1 電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を圧縮する方向に電圧を印加し前記ノズル内に該ノズルの開口径よりも小さな径の液柱を形成し該液柱の先端からインク滴を分離させて微小なインク滴の吐出を行うための第 2 電圧変化プロセスとを含む駆動電圧波形を印加することによって 4 p l 以下のインク滴を吐出することを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、吐出するインク滴で文字や画像の記録を行うインクジェット記録ヘッド、このようなインクジェット記録ヘッドの製造方法及び駆動方法、並びにこのようなインクジェット記録ヘッドを備えたインクジェット記録装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ノンインパクト記録方式は、記録時の騒音が極めて小さく、また高速記録が可能である点で関心を集めており、その中でも、インクジェット記録方式を用いたインクジェット式プリンタは広く普及している。このようなインクジェット式プリンタは、記録ヘッドからインク滴を飛翔させて記録紙に付着させ、文

字、図形、写真等の印字を高速で行う構成を備え、普通紙に特別の定着処理等を施すことなく記録することができる。上記インクジェット記録方式として、圧電アクチュエータ等の電気機械変換器を用い、インクが充填された圧力室に圧力波（音響波）を発生させることで、圧力室に連通するノズルからインク滴を吐出するドロップオンデマンド型インクジェット方式が知られている。

【0003】ドロップオンデマンド型インクジェット方式を採用したインクジェット記録ヘッドが、特公昭53-12138号公報及び特開平10-193587号公報等に記載されている。図34は、これらの公報に記載されるインクジェット記録装置の記録ヘッドを示す断面図である。このインクジェット記録装置は、圧力室51と、圧力室51に連通するノズル52と、共通流路53を介してインクタンクからインクを導くインク供給路54と、圧力室51の底面に固定された振動板55とを備えている。

【0004】上記インクジェット記録装置では、インク滴吐出時に、圧力室51外部に設けられた圧電アクチュエータ56によって振動板55を変位（撓み変形）させ、圧力室51内で容積変化を生じさせることで、圧力室51内に圧力波を発生させる。この圧力波によって、圧力室51内に充填されているインクの一部が、ノズル52を通して外部に噴射され、インク滴57となって飛翔する。飛翔したインク滴は、記録紙等の記録媒体上に着弾して記録ドット（画素）を形成する。このような記録ドットの形成動作が画像データに基づいて繰り返し行われることにより、記録媒体上に文字や画像が記録される。

【0005】上記ドロップオンデマンド型のインクジェット記録装置では、高速記録と高画質記録とを両立させるという要請がある。しかし、従来のインクジェット記録装置においては、高速記録と高画質記録とを両立することは極めて困難であった。例えば、高速記録の実現のために解像度を低く抑えると良好な画質が損なわれ、逆に高画質記録の実現のために解像度を高く設定すると高速記録が妨げられるというように、高速記録及び高画質記録の双方の要請はトレードオフの関係にある。

【0006】ここで、上記インクジェット記録装置で「高速記録」及び「高画質記録」の双方を両立させるために必要な条件について説明する。つまり、「高速記録」を実現させる上では、

①記録解像度の低下、

②ノズル数の増加（ノズル密度増加）、

の二つが特に重要な条件となる。

【0007】上記条件①の「記録解像度の低下」を実現すれば、単位面積を少ないインク滴で記録できるので、記録に要する時間を短縮することができる。例えば、300dpi（ドット／インチ）の記録解像度と1200dpiの記録解像度とを比較すると、同一面積を記録す

るのに必要なドット数は、300dpiの場合では1200dpiの場合の1/16になる。ここで、インク滴吐出の周波数（駆動周波数）が同一であると仮定すれば、300dpiで記録する場合の方が記録速度を約16倍に増加することが可能となる。

【0008】しかし、記録解像度を低く設定すると画像品質が低下するので、記録解像度の低減には下限がある。人間の視覚特性から考えると、画像品質（文字や線画の品質）を損なわずに高速記録を実現するには、記録解像度を300～600dpi（但し、1ドット／インチ=39.37ドット／メートル）程度の範囲内に設定することが最適である。つまり、現在一般的に使用されるインクジェット記録装置の記録解像度（700～2400dpi）よりも低い記録解像度に設定した方が、記録速度を向上させる上では有利である。ただし、記録解像度を低く設定するためには、それに応じた大きなインク滴の吐出を実現する必要がある。

【0009】すなわち、低い記録解像度で行う高速記録に対応した大きなドットを形成するためには、滴体積の大きなインク滴を吐出しなければならない。記録解像度と所要滴体積との関係は、使用するインクや記録紙種類によって多少変化するが、従来のインクジェット記録装置で用いられる一般的なインク及び記録用紙の場合には、300～600dpiの記録解像度で十分な記録濃度を得るためには、15～30pl（ピコリットル）のインク滴体積が必要となる（但し、1ピコリットル=10<sup>-12</sup>l）。これは、記録解像度1200dpiで必要とされるインク滴体積（約10pl）の1.5～3倍の値である。

【0010】また、記録速度を増加させるには、前記条件②の「ノズル数の増加」が必要である。ノズル数が多いほど、単位時間当たりに形成できるドット数が増加して、記録速度が向上する。そのため、通常のインクジェット記録装置では、前述したインク吐出機構（イジェクタ）を複数連結したマルチノズル型の記録ヘッドが多く用いられる。

【0011】上記マルチノズル型の記録ヘッドを図35に示す。この記録ヘッドでは、インクタンク67が共通流路63と連結しており、この共通流路63に複数の圧力室61がインク供給路（図示せず）を介して連結されている。このように、共通流路63に対してイジェクタ68を1次元的に配列するヘッド構造とすることにより、イジェクタ数（ノズル数）を30～100個程度まで増加することができる。

【0012】また、イジェクタ数を更に増加できるヘッド構造として、イジェクタをマトリクス状に2次元配列したインクジェット記録ヘッド（以下、マトリクス状配列ヘッドと呼ぶ）が、例えば特開平1-208146号公報及び特表平10-508808号公報等に記載されている。図36に、これらの公報に記載されたマトリク

ス状配列ヘッドを示す。このマトリクス状配列ヘッドでは、共通流路は主流路73と分岐流路78とから成り、複数のイジェクタ79は分岐流路78の夫々に接続されている。このようなマトリクス状配列ヘッド構造は、イジェクタ数（ノズル数）の増加に極めて有利である。例えば、分岐流路78の数を26本とし、各分岐流路78にイジェクタを10個ずつ接続すると、260個のイジェクタを配列させることができる。なお、図36では、イジェクタを36個のみ表示している。

【0013】上記のように、マトリクス状配列ヘッドは10 ノズル数の増加に有利であるが、圧力室の配列密度を高く設定しなければ、記録ヘッド全体のサイズが増大し、ヘッド製造コストの増大、装置サイズの増大、或いは、ヘッド搬送距離が増大して記録速度が低下するなどの種々の問題を招くことになる。つまり、インクジェット記録ヘッドでノズル数を増加させるという課題は、一定の面積内に如何に多くのノズルを配置できるかであり、つまり、ノズル密度を如何に増加できるかという課題に置き換えられる。図36に示したようなマトリクス状配列ヘッドでは、イジェクタの配列密度を増加させるため20 に、圧力室のサイズを小さく設定することが重要な課題となる。

【0014】一方、インクジェット記録装置で「高画像記録」を実現するためには、吐出するインク滴の径をできるだけ小さく設定することが望ましい。特に、写真画像を出力する場合には、ハイライト部（低濃度部）の粒状感が画質を大きく左右するため、極めて小さなインク滴でハイライト部を記録することが望ましい。人間の眼の分解能から、ドット径が40 $\mu$ m以下になると画像の粒状感が大幅に低下し、更に30 $\mu$ m以下になると個々のドットを目視認識することが困難になるため、画像品質が飛躍的に向上する。従って、画像のハイライト部では径30 $\mu$ m以下の小さなドットを実現することが望ましく、そのためには2～4p1程度の微小滴の吐出を実現させなければならない。

【0015】インクジェット記録ヘッドで微小滴吐出を行うための駆動方法が、例えば特開昭55-17589号公報に記載されている。この公報に記載の駆動方法では、吐出直前に圧力室を一旦膨張させ、ノズル開口部のメニスカスを圧力室側に引き込んだ状態からインク滴の吐出を行う。この種の駆動方法で用いられる駆動波形の一例を図37に示す。この駆動波形は、圧力室を膨張させるための電圧変化プロセス83と、次いで圧力室を圧縮し、インク滴の吐出を行うための電圧変化プロセス84を含んで構成されている。

【0016】図38は、図37の駆動波形を印加した際のノズル91の開口部におけるメニスカス92の動きを模式的に示した断面図である。図38(a)に示すように、初期状態でメニスカス92は平坦な形状をしているが、図37に示す電圧変化プロセス83にตอบสนองして圧力

室が膨張し始めると、メニスカス92の中央部が周辺部よりも大きく後退することによって、メニスカス92は、図38(b)に示すような凹曲面形状となる。

【0017】上記凹曲面状のメニスカス92が形成された状態から、図37に示す電圧変化プロセス84にตอบสนองして圧力室が圧縮を開始すると、図38(c)に示すように、メニスカス92の中央部に細い液柱93が形成され、更に図38(d)に示すように、液柱93の先端部が分離してインク滴94が形成される。このときのインク滴径は、形成された液柱93の太さとほぼ等しく、ノズル径よりも小さい。つまり、このような駆動方法を用いることにより、ノズル径よりも小さなインク滴94を吐出することができる。上記のように、吐出直前のメニスカス形状を制御して微小滴吐出を行う駆動方法のことを、本明細書では以下、「メニスカス制御方式」と呼ぶ。

【0018】以上述べたように、ドロップオンデマンド型のインクジェット記録ヘッドで「高速記録」を実現するためには、低解像度記録を可能とする「大滴吐出」、及び、ノズル数増加を可能とする「ノズル密度増加」が必要である。一方、高画質記録を実現するためには、ハイライト部の粒状感低減を可能とする「小滴吐出」が必要となる。従って、「高速記録」及び「高画質記録」の双方を1つの記録ヘッドで両立させるには、「大滴吐出」、「ノズル密度増加」及び「小滴吐出」の3つの条件を同時に満足させる必要がある。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】しかし、高速記録を実現するための「大滴吐出」及び「ノズル密度増加」、並びに高画質記録を実現するための「小滴吐出」の全てを同時に満足させることは、従来のインクジェット記録ヘッドでは極めて困難になっている。

【0020】また、従来のインクジェット記録ヘッドにおける別の問題点として、インク滴吐出時のメニスカスに異常な振動が発生し、インク滴の吐出現象が不安定化するという問題があった。異常なメニスカス振動が発生するメカニズムについては、従来、詳しい検討は一切なされておらず、防止方法も明らかにされていない。以下に、本発明者らによる検討結果に沿って説明する。

【0021】図39はレーザードップラー計測で観察したメニスカス振動の観測結果の一例を示すグラフであり、(a)は正常時、(b)は異常時を夫々示す。本来は図39(a)に示すようなメニスカス振動が得られるはずであるのに対し、実際に観察されたメニスカス振動には、図39(b)に示すように微細な振動が重畳していた。このような微細な振動がメニスカスに重畳すると、インク滴の吐出が非常に不安定になる。特に、上述したメニスカス制御方式では、メニスカスの液面干渉を利用して微小滴の吐出を行うため、メニスカス振動に上記の微細な振動が重畳すると、微小滴の吐出ができなく



なり、或いは、逆に不要なインク滴が吐出されるなど、正常な微小滴吐出が期待できなくなる。

【0022】本発明は、上記に鑑み、ヘッドサイズの大型化やコストアップを回避しつつ、同一ノズルから所要サイズの「大滴」を吐出させ、且つ「ノズル密度増加」を実現して単位面積当たりのインク滴吐出効率を高めることができるインクジェット記録ヘッド、そのようなインクジェット記録ヘッドを搭載したインクジェット記録装置、並びに、インクジェット記録ヘッドの製造方法及び駆動方法を提供することを目的とする。

【0023】また、本発明は、同一ノズルから所要サイズの「大滴」及び「小滴」の双方を選択的に吐出させ、高速記録と高画質記録の両立を可能とするインクジェット記録ヘッドを提供することを目的とする。本発明は更に、メニスカスの異常振動を防止し、吐出安定性の高いインクジェット記録ヘッドを実現することを目的とする。

#### 【0024】

【課題を解決するための手段】従来のインクジェット記録ヘッドでは、同一ノズルからの「大滴吐出」及び「小滴吐出」の実現に加えて「ノズル密度増加」という3条件を同時に満足することは極めて困難であるが、その理由を、以下に具体例を挙げて説明する。まず、「大滴吐出」について考えると、インクジェット記録ヘッドで吐出できる最大インク滴の体積は、後述するように、圧力室に発生させる体積変化量（排除体積） $\Delta V$ にほぼ一致する（式(2)参照）。つまり、吐出するインク滴とほぼ同等の体積変化を圧力室内に発生させる必要がある。そのため、大きな滴体積を得るためには、圧電アクチュエータの駆動面積（圧力室の底面積）を増加して $\Delta V$ を増大させることが必要となる。

【0025】例えば、圧電アクチュエータの変位量を $0.1\mu\text{m}$ とした場合に、滴体積 $10\text{p l}$ の吐出は $1\times 10^{-7}\text{m}^2$ 程度の駆動面積で実行することができるが、滴体積を $20\text{p l}$ に増加させようとなると、約2倍の駆動面積（ $2\times 10^{-7}\text{m}^2$ ）が必要になる。その結果、単位面積当たりのノズル数（ノズル密度）が約 $1/2$ に低減することになる。すなわち、高速記録のために低解像度記録を実現し滴体積を大きくしようとなると、圧力室のサイズが増大し、その結果として、ノズル密度が低下する。このように、「大滴吐出」と「ノズル密度増加」とはトレードオフの関係にあるので、低解像度記録とノズル数増加（ノズル密度増加）とを同時に実現することは極めて困難である。

【0026】次に、「小滴吐出」について考える。メニスカス制御方式によって微小滴吐出を行うためには、以下に示す理由から、圧力室内に発生させる圧力波の固有周期 $T_0$ を短く設定する必要がある。つまり、図38で説明したように、メニスカス制御方式では、初めにメニスカス92を圧力室側に引き込み、メニスカス92を凹

曲形状にした後、メニスカス92をノズル外側に向かって押し出すことによって細い液柱93を形成する。本発明者らは、液柱93の形成メカニズムについて詳細に検討を行い、その結果、形成される液柱の太さはメニスカスを押し出す際の液面速度に依存することを明らかにした。

【0027】図32は、メニスカス制御方式を用いた際のメニスカスの挙動を模式的に示した断面図である。すなわち、凹曲面形状のメニスカス92に対して、外部に押し出す方向に圧力を加えると、メニスカス92の各部は、図32(a)に示すように、液面の法線方向に移動しようとする。その結果、ノズル中央部に多量のインクが集中し、この局所的な体積増加によってノズル91の中央部に液柱93が形成される。このとき、液面の移動速度が速いほどノズル中央部での体積増加速度も大きくなるため、非常に細い液柱93が速い成長速度で形成される。逆に、液面の移動速度が遅い場合には、図32(b)に示すように、体積増加の速度も小さくなるため、液柱93が太くなり、成長速度が小さくなる。

【0028】メニスカス制御方式で吐出されるインク滴94の滴径は、形成される液柱93の太さとほぼ一致する。また、インク滴の飛翔速度（滴速）は、液柱93の成長速度とほぼ一致する。従って、微小なインク滴94を高速で飛翔させるためには、上記液面移動速度を増加させ、ノズル中央部で急激な体積増加を生じさせることが重要な条件となる。ここで、液面移動速度を支配しているのが圧力波の固有周期 $T_0$ である。つまり、インク滴吐出時におけるメニスカス92の振動速度は圧力波の固有周期 $T_0$ に依存しており、固有周期 $T_0$ が短いほどメニスカスの振動速度、即ち、液面移動速度が増加する。従って、メニスカス制御方式によって微小滴を吐出する場合に、圧力波の固有周期 $T_0$ が短いほど有利となる。

【0029】図33は、メニスカス制御方式で得られる最小滴径と、圧力波の固有周期 $T_0$ との関係を調べた結果を示すグラフである。このグラフから、固有周期が短くなるほど最小滴径が減少することが判る。得られる最小のインク滴体積は、ノズル径やインク粘度などにも依存するが、ノズル径が $20\sim 30\mu\text{m}$ で、使用するインクの粘度が $2\sim 5\text{c p s}$ である一般的なインクジェット記録ヘッドでは、高画質記録に適した $2\sim 4\text{p l}$ の微小滴を吐出可能とするためには、固有周期 $T_0$ を $15\mu\text{s}$ 以下、更に望ましくは $12\mu\text{s}$ 以下に設定する必要がある。

【0030】しかし、固有周期 $T_0$ の減少は、先に述べた「大滴吐出」と相反関係にある。すなわち、「大滴吐出」を実現するために圧力室のサイズを大きく設定すると、圧力波の固有周期が非常に長くなる。これは、圧力波の固有周期 $T_0$ は圧力室及び振動要素（振動板+圧電アクチュエータ）の音響容量和（ $c_0+c_1$ ）に依存し、「大滴吐出」に適したサイズの大きな圧力室及び振動要

素では、固有周期 $T_0$ が長くなるためである。例えば、大滴体積が10 p l、固有周期が10  $\mu$  sのインクジェット記録ヘッドを実現することは容易であるが、大滴体積を20 p lに増加しようとする、固有周期 $T_0$ も約2倍の20  $\mu$  s程度になってしまう。

【0031】そこで、本発明者らは、従来はヘッド構造に関わる多数のパラメータを試行錯誤的に組み合わせ、種々の実験結果から、撓み変形する圧電アクチュエータを用いたインクジェット記録ヘッドでは、滴体積及び固有周期 $T_0$ を支配する実質的なパラメータは振動要素の音響容量のみであることを見出し、振動要素の音響容量の適正な範囲を規定することにより、所要サイズの「大滴吐出」及び「小滴吐出」の両立と「ノズル密度増加」とを実現する本発明を発明するに至った。

【0032】上記目的を達成するために、本発明に係るインクジェット記録ヘッドは、ノズルと、該ノズルに連通する圧力室と、該圧力室の壁面の一部を形成する振動板と、前記圧力室に対応するように前記振動板と接合された圧電アクチュエータとを備え、前記振動板と前記圧電アクチュエータとから成る振動要素が変形して前記圧力室内に充填されたインク内に圧力波を発生させることにより、前記ノズルからインク滴が吐出するインクジェット記録ヘッドであって、前記振動要素の音響容量が、 $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ 以上であることを特徴とする。

【0033】振動要素の音響容量( $c_0$ )は、振動要素の剛性を表わすパラメータであり、 $c_0$ が大きいということは、振動要素が撓み易い、即ち圧力室の大きな排除体積が発生し易いということを意味する。後述する種々の実験結果及び構造解析結果から、 $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ という値は、600 dpi以下の低解像度記録に必要な15 p l以上の「大滴」の吐出を実現できるという観点から、音響容量 $c_0$ の下限値として最適な値と言える。

【0034】例えば、圧電アクチュエータの厚さ $t_p$ 、振動板の厚さ $t_v$ 、及び圧力室幅 $W$ を種々変更した例について夫々に特性評価を実施した。その結果、音響容量 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} [\text{m}^5/\text{N}]$

の条件下では、15 p l以上の「大滴」を吐出することができたが、

音響容量 $c_0 < 2.0 \times 10^{-20} [\text{m}^5/\text{N}]$

の条件下では、15 p l以上の「大滴」を吐出することができず、十分な画像濃度を得ることができなかった。

【0035】つまり、本発明では、振動要素の音響容量 $c_0$ を $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ 以上に規定したことにより、振動要素による15 p l以上の排除体積を得て、一つのノズルから15 p l以上の大滴を吐出することができる。

【0036】本発明の好ましいインクジェット記録ヘッドでは、振動要素の音響容量の上限を $5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ に設定することが望ましい。本発明者らは、音響容量 $c_0$ を $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ 以上の値に設定することで「大滴吐

出」を実現できるが、音響容量 $c_0$ が大き過ぎると圧力室内に発生する圧力波の固有周期が増加し、「小滴吐出」が実行できなくなるという弊害が発生することを確かめた。そして、後述する種々の実験結果に基づき、音響容量 $c_0$ の上限を $5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ に設定することによって、上記弊害の発生を防止することに想到した。

【0037】例えば、音響容量 $c_0 > 5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ の条件下で吐出実験を行ったところ、15 p l以上の「大滴」は吐出できたが、4 p l以下の「小滴」を吐出することはできなかった。この結果から、15 p l以上の大滴体積を確保し、且つ4 p l以下の小滴体積を得るためには、振動要素の音響容量 $c_0$ を $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ 以上、且つ $5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ 以下に設定するのが最適であると確認した。

【0038】本発明の好ましいインクジェット記録ヘッドでは、前記振動要素に印加される駆動電圧波形の制御にตอบสนองして、前記ノズルから吐出するインク滴の滴体積が多段階に変化する。この場合、大滴による低解像度記録と、小滴による高画質記録を同時に実現することができるため、高速記録と高画質記録を両立できるという効果が得られる。

【0039】また、前記ノズルから吐出するインク滴の最大滴体積が15 p l以上に設定されることが好ましい。この場合、記録解像度を600 dpi以下に設定することが可能となるため、記録速度を増加できるという効果が得られる。15 p l以上のインク滴の吐出時に印加される駆動電圧波形は、前記圧力室の体積を収縮させる方向に電圧を印加してインク滴を吐出させる第1電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第2電圧変化プロセスとを少なくとも含み構成したものとすることができる。

【0040】或いは、前記ノズルから吐出されるインク滴の最小滴体積が4 p l以下であることも好ましい態様である。この場合、ハイライト部において粒状性の低い滑らかな画像記録が可能となり、高画質記録を実現できるという効果が得られる。4 p l以下のインク滴の吐出時に印加される駆動電圧波形は、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第1電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を圧縮する方向に電圧を印加し前記ノズル内に前記ノズルの開口径よりも小さな径を有する液柱を形成し該液柱の先端からインク滴を分離させることによって微小なインク滴の吐出を行うための第2電圧変化プロセスとを少なくとも含み構成したものとすることができる。

【0041】更に好ましくは、前記圧力室及び圧電アクチュエータの各平面形状におけるアスペクト比が夫々略1に設定される。本発明における「アスペクト比」は、振動要素の平面形状における最も長い幅と最も短い幅との比を意味する。アスペクト比が略1に設定されると、単位面積当たりの吐出効率が最大化でき、ノズル密度の

高いインクジェット記録ヘッドを実現することが可能となる。振動要素の平面形状として、略正三角形、略正方形、略正六角形、略円形の何れかを選択することができる。

【0042】ここで、圧力室の平面寸法（面積）を  $0.09 \sim 0.5 \text{ mm}^2$  に設定し、振動板及び圧電アクチュエータの厚みを夫々、 $5 \sim 20 \mu\text{m}$  及び  $15 \sim 40 \mu\text{m}$  に設定することが好ましい。これにより、アスペクト比が略1の圧力室を有するインクジェット記録ヘッドにおいて、振動要素の音響容量  $c_0$  を  $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^6/\text{N}$  以上、且つ  $5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^6/\text{N}$  以下に設定することができ、「大滴吐出」と「小滴吐出」を両立できるという効果が得られる。

【0043】ここで、振動要素の音響容量は圧力室の音響容量よりも大きく設定されることが好ましい。この場合、メニスカスの異常振動を抑制し、メニスカスの振動を正常化し、インク滴吐出の安定性を向上できるという効果を得ることができる。

【0044】また、前記圧力室内で発生する圧力波の固有周期を  $T_0$ 、前記振動要素及び圧力室の合成音響容量を  $c_0$ 、前記振動要素のイナータンスを  $m_0$  とすると、次式

$$m_0 < 2.5 \times 10^{-4} T_0^2 / c_0 \text{ [kg/m}^4\text{]}$$

を満足することも好ましい態様である。これにより、インクジェット記録ヘッドに内在する振動系の励起を抑制することができ、上記メニスカス異常振動の影響を更に抑制でき、吐出安定性に優れたインクジェット記録ヘッドを実現することが可能となる。

【0045】前記圧力室の幅を  $W$ 、前記圧力室の中心と前記圧電アクチュエータの駆動部の中心との位置ずれ量を  $\delta$ 、前記圧電アクチュエータの幅を  $W_p$  とすると、次式

$$W_p \leq (W - 2\delta) \text{ 又は } W_p \geq (W + 2\delta)$$

を満足することが好ましい。この場合、圧電アクチュエータ端部の支持条件が常に一定となり、圧電アクチュエータの位置ずれに対するロバスト性（鈍感さ）が向上する。

【0046】また、前記圧力室の幅を  $W$ 、前記圧力室の中心と前記圧電アクチュエータの駆動部の中心との位置ずれ量を  $\delta$ 、前記圧電アクチュエータの幅を  $W_p$  とすると、次式

$$0.9(W - 2\delta) \leq W_p \leq (W - 2\delta)$$

を満足することも好ましい態様である。これにより、圧電アクチュエータと圧力室との間に接合位置ズレが発生した場合でも、吐出効率に大きな変化が生じることを防止でき、更に高い吐出効率を確保することが可能となる。

【0047】前記ノズルから吐出したインク滴が、 $600 \text{ dpi}$  以下の記録解像度で記録媒体上に着弾されることが好ましい。この場合、記録に必要なドットの数

を少なくでき、高速記録に有利になると同時に、記録される文字等の品質も確保できるため、高速記録と高画質記録の両立が可能になるという効果が得られる。また、前記圧力室内に発生する圧力波の固有周期  $T_0$  が  $15 \mu\text{s}$  以下に設定されることも好ましい態様である。この場合、メニスカス制御方式によって径の小さなインク滴を吐出することが可能となり、写真画像等の出力において、画像品質を向上できるという効果が得られる。

【0048】また、前記圧電アクチュエータが、前記圧力室に相当する領域に配置された駆動部と、前記圧力室の外壁に相当する領域に配置された電極パッド部と、前記駆動部及び前記電極パッド部の双方を連結するブリッジ部とを備えることも好ましい態様である。これにより、圧電アクチュエータの変形が電極パッド部によって妨げられる現象を抑制でき、吐出効率の高いインクジェット記録ヘッドを実現することが可能となる。前記ブリッジ部が、前記駆動部の中心から離れた位置に連結されると、前記駆動部の変形に対する拘束力を最小化でき、ヘッドの吐出効率を増加できるという効果を得ることができる。

【0049】また、前記ノズルがマトリクス状に2次元配列されていることも好ましい態様である。この場合、ヘッド内のノズル数を増加することが可能となるため、記録速度を大幅に増加できるという効果が得られる。

【0050】好ましくは、圧電アクチュエータが複数配列された圧電アクチュエータ領域の外周部を取り囲むようにダミーパターンが配設される。これにより、圧電アクチュエータの加工をサンドブラスト加工法によって行う際に、サイドエッチングに起因した加工精度の悪化を防止することができ、吐出特性の均一性が高いインクジェット記録ヘッドを実現できるという効果が得られる。ダミーパターンは、圧電アクチュエータ領域の内部における圧電アクチュエータの相互間にも配設することができる。この場合、上記のサイドエッチングの影響を更に抑制できるという効果が得られる。

【0051】本発明の好ましいインクジェット記録ヘッドでは、信号ラインが形成された配線基板を有し、該配線基板が、2次元的にマトリクス配置された前記圧電アクチュエータの上方を覆う位置に配置され、前記圧電アクチュエータと前記配線基板とがバンプを介して電気的に接続されている。これにより、高密度配列したマトリクス状配列ヘッドにおいても個々の圧電アクチュエータに対して確実な電気接続が可能となる。つまり、信号線を振動要素とは別の平面状に配置できるので、信号線の配置が圧力室の高密度配列を損なうことがなく、圧力室の高密度配列が可能となる。

【0052】また、前記バンプが、導電性のコア材と、該コア材の外周部に被膜した接合材とによって構成されていることが好ましい。この場合、電気接続後において圧電アクチュエータと配線基板との間に間隙を形成する

ことが可能となるため、圧電アクチュエータと配線基板との接触に起因する圧電アクチュエータの特性不良が防止でき、信頼性の高いインクジェット記録ヘッドを実現できる。更に、前記コア材が半球状に形成されていることが好ましい。この場合、圧電アクチュエータとパンプとの接触状態を均一化することができ、安定した電気接続が可能になると同時に、電気接続時における圧電アクチュエータの破壊を防止することができるという効果が得られる。前記配線基板は、樹脂基材及び金属導体を含むことが好ましい。この場合、圧電アクチュエータとパンプとの接触状態をより一層均一化することができる。

【0053】本発明に係るインクジェット記録ヘッドの製造方法は、前記インクジェット記録ヘッドを製造する製造方法であって、前記圧電アクチュエータのサンドブラスト加工でパターンニングすることを特徴とする。

【0054】本発明に係るインクジェット記録ヘッドの製造方法では、圧電アクチュエータのパターンニングをサンドブラスト加工で行うので、吐出効率の最大化及び電気接続に適した複雑形状の圧電アクチュエータを、高い寸法精度及び低い製造コストで実現することができる。

【0055】本発明に係るインクジェット記録装置は、前記インクジェット記録ヘッドを備えていることを特徴とする。このようなインクジェット記録装置によると、高い記録速度と高い画品質を両立可能なインクジェット記録装置を実現することができる。

【0056】本発明に係る第1視点のインクジェット記録ヘッドの駆動方法は、ノズルと、該ノズルに連通する圧力室と、該圧力室の壁面の一部を形成する振動板と、前記圧力室に対応するように前記振動板と接合された圧電アクチュエータとを備え、前記振動板と前記圧電アクチュエータとから成る振動要素が変形して前記圧力室内に充填されたインクを圧縮することにより、前記ノズルからインク滴が吐出するインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動方法において、前記振動要素の音響容量を $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ 以上に設定し、前記振動要素に、前記圧力室の体積を収縮させる方向に電圧を印加してインク滴を吐出させる第1電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第2電圧変化プロセスとを含む駆動電圧波形を印加することによって15 p l以上のインク滴を吐出することを特徴とする。

【0057】本発明の第1視点のインクジェット記録ヘッドの駆動方法では、600 dpi以下の低解像度記録に必要な滴体積の大きなインク滴の吐出を良好に実現できるという効果が得られる。

【0058】本発明に係る第2視点のインクジェット記録ヘッドの駆動方法は、ノズルと、該ノズルに連通する圧力室と、該圧力室の壁面の一部を形成する振動板と、前記圧力室に対応するように前記振動板と接合された圧電アクチュエータとを備え、前記振動板と前記圧電アクチュエータとから成る振動要素が変形して前記圧力室内

に充填されたインクを圧縮することにより、前記ノズルからインク滴が吐出するインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動方法において、前記振動要素の音響容量を $2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ 以上且つ $5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ 以下に設定し、前記振動要素に、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第1電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を圧縮する方向に電圧を印加し前記ノズル内に該ノズルの開口径よりも小さな径の液柱を形成し該液柱の先端からインク滴を分離させて微小なインク滴の吐出を行うための第2電圧変化プロセスとを含む駆動電圧波形を印加することによって4 p l以下のインク滴を吐出することを特徴とする。

【0059】本発明の第2視点のインクジェット記録ヘッドの駆動方法では、粒状性の低い高い画品質をもった画像記録を実現できるという効果が得られる。

【0060】

【発明の実施の形態】本発明に係るインクジェット記録ヘッドの実施形態例を説明するに先立ち、先ず、振動要素の動作特性とインク滴体積との関係について説明する。つまり、振動要素は、現象的に見た際に物理的な振動を発生するので、機械系であるが、インクジェット記録ヘッドは、機械系以外にも、インク流路の音響系や、駆動回路の電気系を混在して備えている。これら3系は、その微分方程式記述が同一形式であるので、相互に等価変換することができる。従って、ここでは全て音響系に統一し、記録ヘッドの動作を一つの音響回路として考える。

【0061】振動要素（振動板+圧電アクチュエータ）の動作特性は、機械系では質量[kg]、コンプライアンス[m/N]、及び減衰[Ns/m]の3つのパラメータだけで表わすことができる。これらを音響系に等価変換すると、振動要素の動作特性はイナータンス $m_0$  [kg/m<sup>4</sup>]、音響容量 $c_0$  [m<sup>5</sup>/N]、及び音響抵抗 $r_0$  [Ns/m<sup>5</sup>]の3つのパラメータだけで表わすことができる。

【0062】上記音響系パラメータを用いると、一つの振動要素は図1に示す等価回路（音響回路）として表わすことができる。ここで、 $\phi$ は圧力[Pa]を表わす。また、図2(a)は、振動要素と流路系を連結した等価回路であり、図34に示したインクジェット記録ヘッドを等価回路に置き換えたものである。

【0063】ここで、 $u$ は体積速度[m<sup>3</sup>/s]、添字の0は振動要素、1は圧力室、2はインク供給路、3はノズルをそれぞれ意味している。この回路を、回路シミュレータ等を用いて解析し、ノズル部の体積速度 $u_3$ の変化を調べることによって、インク滴体積、滴速、圧力波の固有周期などのヘッド特性を求めることができる。

【0064】図3(a)～(c)は夫々、振動要素の音響容量 $c_0$ 、イナータンス $m_0$ 、及び音響抵抗 $r_0$ と排除体積 $\Delta V$ の関係を、図2(a)の等価回路を用いて調べた結果である。なお、排除体積 $\Delta V$ は、後述するように

滴体積  $q$  とほぼ一致するパラメータである。この結果から、 $m_0$  と  $r_0$  は排除体積  $\Delta V$  (滴体積  $q$ ) にはほとんど影響を及ぼさないのに対し、 $c_0$  は  $\Delta V$  に大きく影響し、 $c_0$  が大きいほど  $\Delta V$  が増加する傾向が明らかになった。つまり、振動要素の音響容量  $c_0$ 、イナータンス  $m_0$ 、及び音響抵抗  $r_0$  のうち、吐出特性 (滴体積  $q$ ) に影響するのは  $c_0$  のみであることが明らかになった。

【0065】振動要素のイナータンス  $m_0$  及び音響抵抗  $r_0$  が吐出特性 (滴体積) に大きな影響を及ぼさず、また、ノズルの音響容量  $c_3$  も振動要素の音響容量  $c_0$  及び圧力室の音響容量  $c_1$  に対して無視することができることから、図2(a)の回路は、図2(b)のように簡略化できる。ここで、ノズル及び供給路におけるイナータンス及び音響抵抗に、

$$m_2 = k \cdot m_3, \quad r_2 = k \cdot r_3$$

の関係が成り立つと仮定し、ステップ関数的な圧力  $\phi$  を入力した場合について理論解析を行うと、ノズル部での体積速度  $u_3$  は次式のように表わされる。

【0066】

【式1】

$$u_3(t) = \frac{c_0 \psi}{cm_3 E_c} \exp(-Dc \cdot t) \sin(Ec \cdot t) \quad (1)$$

$$c = c_0 + c_1$$

$$E_c = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{k}}{cm_3} - Dc^2}$$

$$Dc = \frac{r_3}{2m_3}$$

【0067】ノズルから吐出されるインク滴 (大滴) の体積  $q$  [ $m^3$ ] は、図39(a)に示した斜線部の面積にほぼ等しいため、 $q$  は次式によって表わされる。

【0068】

【式2】

$$q = \int_0^m u_3 dt \quad (2)$$

$$\approx 2 \frac{m_2}{m_2 + m_3} \cdot V \cdot \phi \cdot c_0$$

$$= 2 \frac{m_2}{m_2 + m_3} \cdot \Delta V$$

【0069】 $\phi$  [ $Pa/V$ ] は、電気音響変換係数 ( $= \phi/V$ ) であり、単位電圧当たりに発生する圧力の大きさを表わすパラメータである。撓み変形する圧電アクチュエータを用いたインクジェット記録ヘッドでは、この電気音響変換係数  $\phi$  は、滴体積 (吐出効率) を左右する極めて重要なパラメータである。しかしながら、ヘッド構造と  $\phi$  との関係については、過去に詳しく調べられた

例はない。そこで本発明者らは、有限要素法を用いた構造解析によって、ヘッド構造と  $\phi$  との関係について調査を行った。

【0070】構造解析によって  $\phi$  を求めるには、次のような方法を用いればよい。まず、振動要素をモデル化し、印加電圧  $V$  を印加した際の振動要素の変形状態を求める。次に、振動要素に圧力を加え、振動要素の変形量をゼロに戻すために必要な圧力  $p$  を求める。この  $p$  の値をもとに、 $\phi = p/V$  として  $\phi$  の値を求める。また、同様に振動要素の音響容量  $c_0$  は、圧力  $p$  を加えて振動要素を変形させたときに発生する排除体積  $\Delta V$  を求めることにより、 $c_0 = \Delta V/p$  として算出する。

【0071】図4(a)は、ヘッド構造に関わる各パラメータを広い範囲で変化させて構造解析を行い、 $c_0$  と  $\phi$  の値を求めた結果を示すグラフである。具体的には、圧力室及び圧電アクチュエータの平面視における面積を  $9 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-6} m^2$  の範囲で、圧力室及び圧電、アクチュエータ夫々の平面形状におけるアスペクト比を  $1 \sim 20$  の範囲で変化させた。また、振動板厚を、ステンレス等の金属板では  $5 \sim 20 \mu m$  の範囲で、ポリイミドフィルムでは  $20 \sim 100 \mu m$  の範囲で変化させた。更に、圧電アクチュエータ厚を  $10 \sim 50 \mu m$  の範囲で、圧電定数を  $1 \times 10^{-10} \sim 3 \times 10^{-10} m/V$  の範囲で夫々変化させ、様々な組み合わせに対して構造解析を行い、 $\phi$  と  $c_0$  の値を求めた。その結果、音響容量  $c_0$  は  $1 \times 10^{-21} \sim 5 \times 10^{-18} m^5/N$ 、 $\phi$  は  $4 \times 10^3 \sim 4 \times 10^4 Pa/V$  の範囲で変化することが判明した。

【0072】上記解析結果に基づいて  $\phi \cdot c_0$  (単位電圧当たりの滴体積を決定するパラメータ; 前記式(2)参照) と  $c_0$  との関係を調べた結果を図4(b)に示す。この結果から、 $c_0$  と  $\phi \cdot c_0$  との関係は、グラフ中の斜線部の範囲内に分散するが、一般論として、大きな滴体積 (大きな  $\phi \cdot c_0$ ) を得るためには、 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} [m^5/N]$

と設定する必要があることが明らかになった。

【0073】すなわち、撓み変形する圧電アクチュエータを利用したインクジェット記録ヘッドにおいて大きな滴体積 (吐出効率) を確保するためには、 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} [m^5/N]$

が重要な条件となる。音響容量  $c_0$  は振動要素の剛性を表わすパラメータであり、 $c_0$  が大きいということは、振動要素が撓み易い、即ち大きな排除体積  $\Delta V$  を発生し易いということを意味している。また、 $2.0 \times 10^{-20} m^5/N$  という値は、以下に述べるように、 $600 dpi$  以下の低解像度記録を可能とする  $1500 dpi$  以上の大滴を得るという観点からも、音響容量  $c_0$  の下限値として適した値と言える。

【0074】実際のインクジェット記録ヘッドを作製する上で最も適切、且つ一般的な条件として、振動板を金属材料 (ステンレス、ニッケル等) で構成し、圧電定数

を約 $3 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{V}$ とすると、 $c_0$ と $\phi \cdot c_0$ との関係は、図5及び図6に示すようになる。

【0075】図5は $c_0$ と $\phi \cdot c_0$ との関係を示す別のグラフ、図6は図5の一部を拡大したグラフである。つまり、振動板材質や圧電定数を固定すると、振動板厚、圧電アクチュエータ厚、アスペクト比などの値を変えても、 $c_0$ と $\phi \cdot c_0$ との関係は、ほぼ一本の曲線上にプロットされることが明らかになった。これは即ち、滴体積 $q$ を支配するパラメータのうち、 $\phi$ は $c_0$ の関数として扱えることを意味している。

【0076】前記式(2)における $m_2$ 及び $m_3$ は、一般的なインクジェット記録ヘッドでは、後述するように $m_2 \approx m_3$ と設定される。また、印加電圧 $V$ も駆動回路や電源コストを考えると、40V程度が上限となる。従って、式(2)のパラメータのうち、 $m_2/(m_2+m_3)$ 及び印加電圧 $V$ は、実際には任意に変えることのできないパラメータであり、また、 $\phi$ は $c_0$ に依存するパラメータであるため、滴体積 $q$ を支配しているパラメータは実質的に $c_0$ のみであると言える。

【0077】そこで、図6の結果から15pL以上の滴体積を得るのに必要な $c_0$ を求めてみる。上記のように、 $m_2/(m_2+m_3) \approx 1/2$ 、 $V \leq 40 [\text{V}]$ と置くことができるので、15pL以上の滴体積を確保するためには、 $\phi \cdot c_0$ を $4 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{V}$ 以上に設定する必要がある。これを、図6のグラフに当てはめると、 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ の条件となる。つまり、撓み変形する圧電アクチュエータを利用したインクジェット記録ヘッドで低解像度記録に適した15pL以上の滴体積を得るという観点からも、 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ は重要な条件となる。

【0078】以上述べたように、撓み変形する圧電アクチュエータを用いたインクジェット記録ヘッドにおいて、滴体積を支配する実質的なパラメータが $c_0$ のみであることを見出し、 $c_0$ の適正な下限値を規定した点が、本発明の特徴の一つである。従来は、ヘッド構造に関わる多数のパラメータを試行錯誤的に組み合わせることで滴体積の調整を行っていたのに対し、上記のように支配パラメータを $c_0$ の一つだけに整理し、その最適範囲を明らかにしたことは、ヘッドの最適化設計を行う上で極めて有効である。

【0079】次に、「大滴吐出」と「ノズル密度増加」とを両立させる圧力室形状について考える。上述したように、滴体積を実質的に支配しているパラメータが $c_0$ だけであることから、「大滴吐出」と「ノズル密度増加」とを両立させるためには、単位面積当たりの $c_0$ を最大化することが重要である。

【0080】音響容量 $c_0$ は振動要素の形状に大きく依存する。そこで、単位面積当たりの $c_0$ を最大化できる振動要素形状について調査を行った。図7は、四角形の圧力室に関し、面積が同一でアスペクト比(縦横比)が

異なる各形状に対して $c_0$ を求めた結果である。図7から、圧力室の平面形状のアスペクト比が1に近づくほど、即ち、正方形に近い形状であるほど音響容量 $c_0$ は増加することが判る。つまり、アスペクト比が1に近い平面形状の圧力室を用いれば、小さい占有面積で大きな音響容量 $c_0$ を得ることが可能となり、ノズル密度の向上に有利となる。

【0081】図7に示した結果から、単位面積当たりの吐出効率を高く設定するためには、圧力室のアスペクト比を少なくとも0.3~3の間に設定することが必要である。更に好ましいのはアスペクト比を0.8~1.2の間に設定することである。この場合、アスペクト比=1の最適条件と比較して吐出効率の低下を30%以下に納めることができる。

【0082】ここで、「アスペクト比」とは、アスペクト比の定義を説明する図8(a)~(d)に示すように、圧力室の平面形状における最も長い幅(A)と最も短い幅(B)との比(B/A)を示す値を意味する。また、圧力室の平面形状のアスペクト比を略1に設定した場合、通常、振動要素のアスペクト比も略1となる。すなわち、振動要素は振動板と圧電アクチュエータの駆動部(後述)から構成されており、圧電アクチュエータの駆動部は圧力室の平面形状とほぼ一致する形状とされるため、振動要素のアスペクト比も略1となる。

【0083】図7は四角形の圧力室について調査した結果であるが、それ以外の三角形、五角形及び六角形を含む多角形や、楕円形についても、アスペクト比=1

で $c_0$ が最大になるという同様の結果が得られている。

従って、

アスペクト比=1

が最適であるという結論は、四角形以外の他の形状の圧力室についても一般的に当てはめることができる。

【0084】次に、図39(b)に示した異常なメニスカス振動の原因について述べる。図9は、図2(a)の等価電気回路の周波数応答を調べた結果を示すグラフである。このグラフで、130kHz及び1.3MHzにピークが存在していることから、本回路は二つの共振周波数を有していることが判る。図10は、図2(a)の等価電気回路を書き換えた、1個のイジェクタの等価電気回路を示す回路図である。回路をこのように書き換えた場合、本回路にはA、Bという二つの振動系が含まれていることが判る。

【0085】すなわち、図9に見られた二つの共振周波数は、振動系A及びBの各共振周波数に対応していると考えることができる。インク滴吐出に用いられる本来のメニスカス振動は振動系Aによって発生し、これに振動系Bによる周期の短い振動が重畳していると考えれば、図39(b)のようなメニスカス振動の発生が理解できる。振動系Aの固有周期 $T_A$ は、次式のように表わされ

10

20

30

40

50



る。

【0086】

【式3】

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{m_2 m_3}{m_2 + m_3} \cdot (c_0 + c_1)} \quad (3)$$

【0087】振動系Aでは、 $c_0$ と $c_1$ とが並列接続になっている点特徴的であり、そのため、メニスカス振動の固有周期 $T_c$ は

$$c (= c_0 + c_1)$$

によって支配される。一方、振動系Bの固有周期 $T_B$ は、次式のように表わされる。

【0088】

【式4】

$$T_B = 2\pi \sqrt{m_0 \cdot c_c} \quad (4)$$

【0089】式4における $c_c$ は、振動要素の音響容量 $c_0$ と圧力室の音響容量 $c_1$ を直列接続した際の合成音響容量であり、次式で表わされる。

【0090】

【式5】

$$c_c = \frac{1}{\frac{1}{c_0} + \frac{1}{c_1}} \quad (5)$$

【0091】すなわち、 $c_0$ と $c_1$ とが直列接続された合成音響容量 $c_c$ によって支配されるという点が、振動系Bの特徴である。この振動系Bは、特開平6-171080号公報等に記載される縦振動型圧電アクチュエータを用いたインクジェット記録ヘッドで見られる振動要素自体の固有振動とは異なるものである。振動系Bは、振動要素自体の固有振動系ではなく、あくまでも振動要素と流路系（圧力室）とを連結することによって形成される振動系の一つである。

【0092】上記のように、撓み変形する圧電アクチュエータでは、記録ヘッド内に二つの振動系が存在するので、正常なメニスカス振動を得るには、上記振動系Bの影響を抑制することが必要である。この実現のためには、振動系Bの振動振幅を小さくする（条件1）、及び、 $T_B \ll T_c$ とする（条件2）の二つの条件を満たす必要がある。以下、二つの条件を満たすための具体的な対策について述べる。

【0093】ステップ関数的な圧力 $\phi$ を入力したときの振動系Bの応答は次式のように表すことができる。

【0094】

【式6】

$$u_B(t) = \frac{\psi}{m_0 E_0} \exp(-D_B \cdot t) \sin(E_B \cdot t) \quad (6)$$

$$= \psi \cdot \sqrt{\frac{c_c}{m_0}} \exp(-D_B \cdot t) \sin(E_B \cdot t)$$

$$E_B = \sqrt{\frac{1}{c_c m_0} - D_B^2}$$

$$10 \quad D_B = \frac{r_0}{2m_0}$$

【0095】すなわち、振動系Bによって生じる体積速度 $u_B$ の振幅は $c_c$ の $1/2$ 乗に比例するため、振動系Bの振幅を小さくするためには（条件1）、 $c_c$ を小さく設定する必要がある。ただし、本来のメニスカス振動（振動系A）の振幅や固有周期に影響を及ぼさないようにするため、

$$c (= c_0 + c_1)$$

は一定の条件下で $c_c$ を最小化する必要がある。

20 【0096】図11は、 $c_0$ の値による $c_c$ の変化を示すグラフである。このグラフでは、 $c_0 + c_1 = 1.0$ として計算した。このグラフから、 $c_c$ を小さくするためには $c_0$ と $c_1$ とをアンバランス（不均衡）に設定、つまり、 $c_0 > c_1$ 又は $c_0 < c_1$ と設定すればよいことが分かる。ただし、 $c_0$ を小さくすると、前述したように滴体積 $q$ が減少するので、滴体積の確保、及び振動系Bの振幅減少の双方を両立させるために、 $c_0 > c_1$ とする必要がある。

【0097】次式に示されるように、圧力室の音響容量 $c_1$ は、圧力室の体積 $W_1$ に比例する。ただし、 $\kappa$ はインクの体積弾性率[Pa]、 $\alpha$ は補正係数（ $0 < \alpha < 1$ ）である。

【0098】

【式7】

$$c_1 = \frac{W_1}{\kappa \cdot \alpha} \quad (7)$$

【0099】15p1以上の滴体積を吐出するインクジェット記録ヘッドでは、圧力室の底面積の下限は約 $9 \times 10^{-8} \text{m}^2$ であり、圧力室高さの下限は、インクの流動性を確保するために $50 \mu\text{m}$ 程度にされる。そのため、圧力室の音響容量 $c_1$ は、 $2 \times 10^{-20} \text{m}^6/\text{N}$ 以上の値となる。従って、振動系Bの振動振幅を小さく抑制するためには、 $c_0 \geq 2 \times 10^{-20} \text{m}^6/\text{N}$ と設定する必要がある。すなわち、振動系Bの影響を防止し、安定したメニスカス振動を得るという観点からも、 $c_0 \geq 2 \times 10^{-20} [\text{m}^6/\text{N}]$ は重要な条件となる。

【0100】また、振動系Bが振動系Aに及ぼす影響を低減するためには、 $T_B \ll T_c$ とすること（条件2）も重要である。すなわち、振動系Bの固有周期 $T_B$ を $T_c$ に比

べて十分小さく設定できれば、メニスカス挙動への実質的な影響を小さく抑えることが可能となる。振動系Bの固有周期 $T_B$ は式(4)で表わされることから、 $T_B$ を小さくするためには、 $c_c$ 及び $m_o$ を小さくする必要がある。

【0101】流体シミュレーション及び実際の吐出実験の結果から、正常なインク滴吐出を行うためには、 $T_B < T_c / 10$ とすることが望ましいことが明らかになった。従って、下式の条件が成立するように $m_o$ を設定する必要がある。

【0102】

【式8】

$$m_o < \frac{1}{c_c} \left( \frac{T_c}{20\pi} \right)^2 = 2.53 \times 10^{-4} \frac{T_c^2}{c_c} \quad (8)$$

【0103】以上述べたように、図39(b)に示したメニスカスの異常振動が、ヘッド内に含有される第2の振動系(振動系B)の影響によるものであることを明らかにし、更に、振動系Bによる悪影響を抑制できる条件を明らかにした点も、本発明の特徴の一つである。なお、撓み変形する圧電アクチュエータを用いたインクジェット記録ヘッドにおいて上記振動系Bの存在及びその影響について言及した開示例は、本発明者らが知る限り存在していない。

【0104】これまで述べてきたように、「大滴吐出」及び「メニスカス振動の正常化(振動系Bの影響抑制)」の観点からは、 $c_o$ は大きいほど有利であることが判った。しかしその一方で、式(3)から判るように、 $c_o$ を大きくすると固有周期 $T_c$ も増加してしまう。前述したように、メニスカス制御方式によって微小滴を吐出するためには、固有周期 $T_c$ は一定以下に抑える必要がある。具体的には、 $T_c$ を $15 \mu s$ 以下に設定する必要がある。そこで次に、固有周期 $T_c$ を小さく設定するという観点から、 $c_o$ の上限値について考える。

【0105】式(3)に示されるように、 $T_c$ は $m_2 \cdot m_3 / (m_2 + m_3)$ の $1/2$ 乗に比例する。イナータンス $m$ は、次式のように管路断面積 $A [m^2]$ 及び管路長さ $l [m]$ によって決まるパラメータである。ただし、 $\rho$ はインクの密度 $[kg/m^3]$ である。

$$2.0 \times 10^{-20} \leq c_o \leq 5.5 \times 10^{-19} [m^6/N] \quad (10)$$

【0111】また、 $c_o > c_1$ 及び式(8)の条件を満足することにより、ヘッド内に形成される第2の振動系(振動系B)の影響を抑制することができ、吐出安定性及び信頼性に優れたインクジェット記録ヘッドを実現することができる。更に、圧力室のアスペクト比を略1に設定することにより、単位面積当たりの $c_o$ を最大化でき、ノズル密度の高いインクジェット記録ヘッドを実現することができる。

【0112】第1実施形態例

以下、図面を参照し、本発明に係る第1実施形態例に基

【0106】

【式9】

$$m = \frac{\rho l}{A} \quad (9)$$

【0107】一般的なインクジェット記録ヘッドでは、ノズルのイナータンス $m_3$ と供給路のイナータンス $m_2$ とがほぼ等しく設定される。なぜならば、 $m_3 \gg m_2$ であると、滴吐出後のインク補充速度であるリフィル速度は大きくなるが、吐出効率が低下することになる(式2を参照)。一方、 $m_3 \ll m_2$ であると、吐出効率は増加するが、リフィル速度が低下することになる。従って、一般的なインクジェット記録ヘッドでは、吐出効率確保とリフィル速度増加との両立を図るため、 $m_2 \approx m_3$ と設定される。

【0108】また、実際のノズル形状、つまり、開口径 $30 \mu m$ 以下、長さ $20 \mu m$ 以上、テーパ角 $15^\circ$ 以下としたノズル形状から考えると、 $m_3$ は $2 \times 10^{-7} kg/m^4$ 以上の値となる。従って、 $m_2 \cdot m_3 / (m_2 + m_3)$ は約 $1 \times 10^{-7} kg/m^4$ が下限値となる。

【0109】また、前述したように、圧力室の音響容量 $c_1$ は約 $2 \times 10^{-20} m^6/N$ が下限となる。従って、式(3)から、 $15 \mu s$ 以下の固有周期 $T_c$ を得るためには、音響容量 $c_o$ を $5.5 \times 10^{-19} m^6/N$ 以下に設定する必要がある。つまり、固有周期 $T_c$ についても、滴体積 $q$ の場合と同様、いくつかの決定因子(パラメータ)が存在しているが、 $T_c$ を小さく設定しようとした場合には、実質的に $c_o$ のみが支配パラメータとなる。そして、小滴吐出に適した $15 \mu s$ 以下の固有周期 $T_c$ を得るためには、音響容量 $c_o$ を $5.5 \times 10^{-19} m^6/N$ 以下に設定することが必要条件となる。

【0110】以上の内容をまとめると、撓み変形する圧電アクチュエータを用いたインクジェット記録ヘッドでは、滴体積 $q$ 及び固有周期 $T_c$ は、振動要素の音響容量 $c_o$ によって支配され、その他のパラメータの上限/下限値を考慮すると、 $c_o$ に最適範囲が存在する。すなわち、音響容量 $c_o$ を次式の条件を満足するように設定することにより、「大滴吐出」と「小滴吐出」とを両立させることができる。

づいて本発明を更に詳細に説明する。本実施形態例では、 $c \geq 2.0 \times 10^{-20} m^6/N$ の条件を満たす振動要素の具体的な構成を調査、試作し、インク滴吐出実験を行った結果として示す。図12は、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドを展開した状態で示す斜視図である。

【0113】本インクジェット記録ヘッドは、マトリクス状(行列状)に複数のノズル13が形成されたノズルプレート29上に、インクプールプレート38と、インク供給プレート39と、複数の圧力室14が形成された圧力室プレート40と、圧力室14の壁面の一部を成す



振動板41とがこの順に接合されている。振動板41には、各圧力室14に対向するように複数の圧電アクチュエータ16が接合されている。

【0114】図13は、図12の構成を一部透視した状態で示す平面図である。本実施形態例のノズル配置は、8行×8列のマトリクス状の配列とされている。行方向でのノズルピッチは、解像度600dpiに対応する $42.3\mu\text{m}$ である。従って、行ピッチは、 $42.3\mu\text{m}\times 8\text{列}=338\mu\text{m}$ であり、圧力室14の行方向での幅は、そのピッチに収まる $328\mu\text{m}$ とされる。

【0115】また、列ピッチも $338\mu\text{m}$ とされ、圧力室14の列方向での幅はそのピッチに収まる $328\mu\text{m}$ とされる。つまり、圧力室14の平面形状は正方形である。振動要素の平面形状も、圧力室14の平面形状と同一であり、その面積は $0.108\text{mm}^2$ と、従来の構造よりも大幅に面積が小さくされている。振動要素の平面寸法が決まると、音響容量を決める構造パラメータは、その構成部材である振動板41と圧電アクチュエータ16の材質と厚さのみである。ここでは、振動板41の材質をステンレス鋼(SUS304)、圧電アクチュエータ16の材質をチタン酸ジルコン酸鉛系セラミクスに決めた。従って、残る構造パラメータは、これら二つの部材の厚さである。

【0116】厚さを決めるために、まず二つの部材の厚さと音響容量 $c_0$ との関係を調査した。音響容量 $c_0$ の算出には有限要素解析を用い、構造モデル化した振動要素に均一圧力 $p$ を印加した際の排除体積 $\Delta V$ を計算し、 $c_0=\Delta V/p$ とした。

【0117】上記結果をまとめたものを図14のグラフに示す。グラフでは、横軸に振動板41の厚さを、縦軸に圧電アクチュエータ16の厚さをとり、それらの組み合わせに対する音響容量 $c_0$ を解析調査し、 $c_0\geq 2.0\times 10^{-20} [\text{m}^6/\text{N}]$

の条件を満たす組み合わせの領域を塗り潰して表した。その領域内のどの厚さ組み合わせでも、振動要素の排除体積は $15\text{pl}$ 以上を得ることができる。従って、これを用いたインクジェット記録ヘッドでは $15\text{pl}$ 以上のインク滴を吐出することができる。

【0118】本実施形態例では、その解の一つとして、振動板41の厚さを $5\mu\text{m}$ 、圧電アクチュエータ16の厚さを $10\mu\text{m}$ にした試作を行い、更に、インク流路と組み合わせてインク滴吐出実験を行った。その具体例を以下に示す。

【0119】つまり、ノズルプレート29、インクプールプレート38、供給路プレート39、圧力室プレート40、及び振動板41は、その外形寸法が全て同一であり、ヘッド走査方向での幅が $4\text{mm}$ 、ヘッド走査方向と直交する方向での幅が $4\text{mm}$ とされている。また、材質も全てステンレス鋼(SUS304)とされている。

【0120】ノズルプレート29は、厚さが $50\mu\text{m}$ で

あり、上述のレイアウトに従い、直径 $25\mu\text{m}$ のマトリクス状のノズル13がプレス加工で貫通・形成されている。インクプールプレート38の厚さは $200\mu\text{m}$ であり、ノズル13に連通する直径 $28\mu\text{m}$ の連通孔38aがプレス加工で形成され、インクプール38bがエッチング加工で形成されている。

【0121】供給路プレート39は、厚さが $50\mu\text{m}$ であり、プレス加工によって、ノズル13に連通する直径 $28\mu\text{m}$ の連通孔39aと、インクプール38bに連通する直径 $25\mu\text{m}$ のインク供給路39bとが形成されている。圧力室プレート40は、厚さが $80\mu\text{m}$ であり、上述の平面形状に従い、エッチング加工で、複数の圧力室14が形成されている。振動板41は、既に述べたように厚さが $5\mu\text{m}$ とされ、導電性を有し、圧電アクチュエータ16の駆動電圧波形を印加するための共通電極としても機能する。以上の5種類のプレートには、相互に位置決め接合するためのアライメントマーカ(図示せず)が付与されている。

【0122】圧電アクチュエータ16は、既に述べたように厚さが $10\mu\text{m}$ とされる。各圧電アクチュエータ16は、各圧力室14に対応して振動板41上に個別に設けられており、その平面形状は圧力室14の外形と同一である。

【0123】圧電アクチュエータ16の両面には、電極膜が夫々形成されている。電気配線パターンを有するフレキシブルケーブル(図示せず)と、圧電アクチュエータ16の自由表面側の電極膜(個別電極)とは、ワイヤボンディングを介して電氣的に接続されている。

【0124】次に、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドの製造方法について説明する。図15は、この製造方法を示す斜視図であり、(a)～(d)は各工程を段階的に示す。まず、図15(a)に示すように、円柱状の圧電材料ブロック(図示せず)にラップ研磨加工を施し、圧電材料プレート42を作製する。研磨加工は、厚さが圧電アクチュエータ16の設計厚さと同じになるように行う。この圧電材料プレート42の両面に夫々、スパッタリングで電極膜43を形成する。本実施形態例では、電極膜43の電極材料として金(Au)を用いた。

【0125】次いで、図15(b)に示すように、高温時に粘着力が無くなる性質を有する粘着発泡テープ44を介して、スパッタリング済みの圧電材料プレート42を固定板45に仮固定する。この固定板45には、ノズルプレート29、圧力室プレート40及び振動板41等のSUSプレートとの接合位置決めを行うためのアライメントマーカ(図示せず)が設けられている。

【0126】更に、図15(c)に示すように、仮固定した圧電材料プレート42上に、感光性を有するフィルムマスク46を貼りつける。本実施形態例では、フィルムマスク46として、厚さ $10\mu\text{m}$ のウレタン系フィルムマスクを使用している。この後、圧電アクチュエータ

16として残す部分のみに紫外線(UV)を透過させるパターンに形成した露光マスク47を別途準備する。このフィルムマスク46は、固定板45のアライメントマークを基準にしてパターンニングされている。

【0127】続いて、露光マスク47を用いて、フィルムマスク46で被覆した圧電材料プレート42にUV露光を行い、更に、フィルムマスク46にエッチングを行う。エッチング液には、フィルムマスク46のUV照射された部分を除去せず、それ以外の部分を確実に除去できる特性を有するものを選択する。本実施形態例では、炭酸ナトリウム溶液を用いた。

【0128】以上までのプロセスで、圧電アクチュエータ16として残したい部分のみにフィルムマスク46を被覆し、それ以外の部分からはフィルムマスク46を除去する。続いて、この構造に対してサンドブラスト加工を行う。このサンドブラスト加工は、フィルムマスク46が除去されて露出した部分の圧電材料プレート42を確実に研削除去し、フィルムマスク46が残った部分を研削しないような条件下で行う。

【0129】この後、圧電材料プレート42の表面に残存したフィルムマスク46を除去し、洗浄する。以上の工程によって、図15(d)に示すように、両面に電極膜31を備え、小片化された圧電アクチュエータ16を固定板45上に粘着発泡テープ44で貼りつけた構造の圧電材料を得ることができる。

【0130】次いで、上記圧電材料を振動板41に貼りつける工程を行う。まず、図15(d)に示す圧電材料の表面に、接着剤(図示せず)を塗布する。本実施形態例では、振動板41を共通電極として兼用するので、塗布する接着剤には導電性を有する接着剤を用いる。これを塗布した後に、振動板41と固定板45とのアライメントマークを位置決め基準として、圧電材料と振動板41とを重ね合わせ、1平方センチメートルあたり2kgの加圧を行い、200℃の温度下で熱硬化性の接着剤を硬化させ、双方を接合する。なお、この加熱時に圧電材料と固定板45とを仮固定するために用いた粘着発泡テープ44は、熱で粘着力を失うので、容易に剥離される。

【0131】以上の工程により、振動板41を共通電極としその上に小片化された圧電アクチュエータ16を備え、各圧電アクチュエータ16上に個別電極が設けられたユニットが得られる。このユニットを、別途位置決め接着・接合しておいた振動板41以外のノズルプレート29、インクプールプレート38、供給路プレート39及び圧力室プレート40の接合品であるプレートユニットと接着・接合する。これにより、インクジェット記録ヘッドを得ることができる。

【0132】最後に、各圧電アクチュエータ16に駆動電圧波形を印加するための電気接続を行う。本実施形態例では、インクジェット記録ヘッドの外周にFPCケーブル(図示せず)を貼り付け、その電極端子と各圧電アク

チュエータ16の個別電極とをワイヤボンディングで接続した。

【0133】次に、本実施形態例の作動について説明する。つまり、上述のように試作したインクジェット記録ヘッドに対し、図12に示すインクプール38bからインク供給路39bを経由して各圧力室14にインクを充填する。引き続き、各圧電アクチュエータ16の個別電極と振動板41(共通電極)との間に駆動電圧を印加すると、振動板41と圧電アクチュエータ16とから成る振動要素が撓み変形して、圧力室14内に充填されたインクを圧縮することにより、対応するノズル13からインク滴が吐出する。

【0134】以上のインクジェット記録ヘッドを用い、インク滴の吐出実験を行った。図16は、この実験で用いた駆動電圧波形を示すグラフである。グラフでは、縦軸に電圧[V]を、横軸に時間[μs]をとっている。

【0135】まず、図16に示す駆動電圧波形を各振動要素に個別に入力する。その結果、各ノズル13から20plのインク滴が安定して吐出することを確認した。更に、同時に駆動する振動要素の数を変化させて同様の実験を行った。その結果、駆動する個数に拘わらず、同じ滴量のインク滴を安定して吐出できることを確認した。また、駆動する場所による吐出特性(吐出滴体積、吐出滴速度、吐出方向)の差異も確認されなかった。

【0136】本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、振動要素の音響容量 $c_0$ は、有限要素法による構造解析及び実測評価により $3.2 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ と求められた。すなわち、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドは、

$$c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} [\text{m}^5/\text{N}]$$

の条件を満たしている。

【0137】つまり、 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$ の条件を満たせば、15pl以上の大滴吐出が可能となることが、本実施形態例の実験結果によって確認された。

#### 【0138】第2実施形態例

図17は、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドを展開した斜視図である。このインクジェット記録ヘッドでは、インク流路は、ノズルプレート1、共通流路プレート2、供給路プレート4、圧力室プレート5、及び振動板6の合計5枚のプレートを接着剤によって積層接合することにより形成されている。

【0139】共通流路は、1本の主流路7と26本(図17では5本のみ表示)の分岐流路8とによって構成されている。主流路7は、供給口9を介してインクタンク(図示せず)に連通しており、各分岐流路にインクを供給する機能を有する。各分岐流路8には夫々、10個ずつの圧力室14が連結されている(図17では5個のみ表示)。つまり、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドは、260個のイジェクタを有するマトリクス状配列ヘッドとして構成されている。

【0140】図18はイジェクタ1個の断面を示した図である。圧力室12は、インク供給孔11を介して分岐流路8に連結されており、圧力室12内にインクが充填される。各圧力室12には、インク滴を吐出するためのノズル10が連結されている。また、圧力室12の底面には振動板6が設けられており、振動板6には圧電アクチュエータ27が取り付けられている。この圧電アクチュエータ27に駆動電圧波形を印加すると、圧電アクチュエータ27が撓み変形し、圧力室12を膨張又は圧縮させる。圧力室12に体積変化が生じると、圧力室12内に圧力波が発生する。この圧力波の作用によってノズル部のインクが運動し、ノズル10から外部へ排出されてインク滴が形成される。なお、24は連通路を示す。

【0141】本実施形態例では、ノズルプレート1に厚さ $25\mu\text{m}$ のポリイミドフィルムを用い、エキシマレーザ加工によって、開口径 $25\mu\text{m}$ のノズル10を形成した。本実施形態例のように、ノズルを形成する部材(ノズルプレート1)に樹脂フィルムを用いると、ノズルプレート1を分岐流路8のエアダンパとして機能させることができ、多ノズル同時吐出時の吐出安定性を向上させることができる。すなわち、図18に示したようなヘッド構造において、ノズル10が形成されるノズルプレートを樹脂フィルムで形成すると、分岐流路8の壁面の一部(上面)も樹脂フィルムとなる。分岐流路の壁面を剛性の低い樹脂フィルムで構成すると、分岐流路の音響容量が大幅に増加し、分岐流路を介した音響波の伝播(クロストーク)等の発生を防止することができ、多ノズル同時吐出時の吐出安定性を向上させることができる。なお、分岐流路に十分な音響容量を確保し、且つノズル部にノズルとしての機能(吐出方向性向上、気泡巻き込み防止など)を付与するためには、樹脂フィルムの厚さは $20\sim 70\mu\text{m}$ の範囲内であることが好適である。但し、この好適範囲以外であっても、同様の作用効果を不十分ながら得ることは可能である。供給路プレート4には、厚さ $75\mu\text{m}$ のステンレス板を用い、プレスによって開口径 $26\mu\text{m}$ のインク供給孔11を形成した。

【0142】共通流路プレート2及び圧力室プレート5には、厚さ $100\mu\text{m}$ のステンレス板を用い、ウェットエッチングによって流路パターンを形成した。圧力室12は、一辺の長さが $500\mu\text{m}$ 、アスペクト比1の四角形とし、圧力室12の角部には、図19(a)に示すように、インク流れの淀みを防止するためにR形状を付与した。振動板6には、厚さ $10\mu\text{m}$ のステンレス板( $E_v=197\text{GPa}$ )を用いた。図19(a)におけるPxは主走査方向428(図42参照)のノズルピッチ、Pyは副走査方向429のノズルピッチを夫々示している。

【0143】図19(b)は、本実施形態例で用いた圧電アクチュエータ27の形状を示した図である。圧電アクチュエータ27には厚さ $30\mu\text{m}$ の単板状圧電セラミ

クス(チタン酸ジルコン酸鉛系セラミクス)( $E_p=200\text{GPa}$ )を用いた。圧電アクチュエータの幅Wpは圧力室幅Wとほぼ等しい $490\mu\text{m}$ とし、加工にはサンドブラスト加工法を用いた。なお、37は電極パッド部、38は駆動部を夫々示す。

【0144】有限要素法による構造解析及び実測評価の結果、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、振動要素の音響容量 $c_o$ は $3.2\times 10^{-20}\text{m}^6/\text{N}$ 、イナータンス $m_o$ は $1.3\times 10^6\text{kg}/\text{m}^2$ と求められた。また、圧力室12の音響容量は $2.0\times 10^{-20}\text{m}^6/\text{N}$ であった( $c_e=1.2\times 10^{-20}\text{m}^6/\text{N}$ )。つまり、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドは、式(8)及び式(10)の条件を満たしている。

【0145】図40に、本実施形態例で使用した駆動電圧波形を示す。図40(c)に示す大滴用駆動電圧波形は、比較的緩やかな立ち上げ時間で圧力室を圧縮するための第1電圧変化プロセス402、及び、一定期間電圧を保持した後に印加電圧を基準電圧(オフセット電圧 $V_o$ )に戻すための第2電圧変化プロセス404によって構成されている。この駆動電圧波形が圧電アクチュエータに印加されると、第1電圧変化プロセス402が印加されたタイミングで圧力室内に大きな圧力が発生し、ノズル内のインクが記録紙に向けて噴射される。区間 $t_a=5\mu\text{s}$ 、区間 $t_d=10\mu\text{s}$ 、区間 $t_r=15\mu\text{s}$ 、電圧変化量 $V_a=30\text{V}$ 、バイアス電圧 $V_o=20\text{V}$ に夫々設定した。

【0146】一方、図40(a)に示す小滴用駆動電圧波形は、吐出直前に圧力室を膨張させるための第1電圧変化プロセス401、圧力室を急激な速度で圧縮するための第2電圧変化プロセス402、圧力室を急激な速度で膨張させるための第3電圧変化プロセス403、及び印加電圧を基準電圧に戻すための第4電圧変化プロセス404によって構成されている。この駆動電圧波形が圧電アクチュエータに印加されると、第1電圧変化プロセス401によってノズル開口部のメニスカスが一旦圧力発生室側に引き込まれ、凹形状のメニスカスを形成する。

【0147】その後、第2電圧変化プロセス402が加えられると、ノズル中央部に細い液柱が形成され、更に第3電圧変化プロセス403によって液柱が早期に分断されることにより、ノズル径よりも小さなインク滴が吐出される。すなわち、本駆動電圧波形はメニスカス制御方式によって微小滴を吐出するための駆動波形である。区間 $t_1=2\mu\text{s}$ 、区間 $t_2=2\mu\text{s}$ 、区間 $t_3=2\mu\text{s}$ 、区間 $t_4=0.5\mu\text{s}$ 、区間 $t_5=2\mu\text{s}$ 、区間 $t_6=5\mu\text{s}$ 、区間 $t_7=15\mu\text{s}$ 、電圧変化量 $V_1=15\text{V}$ 、電圧変化量 $V_2=12\text{V}$ 、電圧変化量 $V_3=17\text{V}$ 、バイアス電圧 $V_o=20\text{V}$ に夫々設定した。

【0148】図40(b)に示す中滴用駆動電圧波形は、小滴と同様にメニスカス制御を利用したもので、吐

出直前に圧力室を膨張させるための第1電圧変化プロセス401'、圧力室を急激な速度で圧縮するための第2電圧変化プロセス402'、及び印加電圧を基準電圧に戻すための第3電圧変化プロセス404'によって構成されている。小滴用駆動電圧波形の第3電圧変化プロセス403のように液柱の早期分断を行わず、第2電圧変化プロセス402'の後に一定期間電圧を保持するため、小滴よりも若干大きなインク滴が吐出される。区間 $t_{1'} = 2\mu s$ 、区間 $t_{2'} = 2\mu s$ 、区間 $t_{3'} = 2\mu s$ 、区間 $t_{4'} = 10\mu s$ 、区間 $t_7 = 15\mu s$ 、電圧変化量 $V_{1'} = 15V$ 、電圧変化量 $V_{2'} = 20V$ 、バイアス電圧 $V_b = 20V$ に夫々設定した。

【0149】なお、図40に示した駆動波形は、本発明のインクジェット記録ヘッドの駆動方法を示す一例であり、その他の形状の駆動波形を用いることも可能である。すなわち、大滴吐出用の波形としては、圧力室の体積を収縮させる方向に電圧を印加してインク滴を吐出させる第1電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第2電圧変化プロセスとを少なくとも含めば、図40(c)と異なる形状の駆動波形を用いてもかまわない。

【0150】例えば、第1電圧変化プロセス402'の直前に、メニスカスをノズル内部に僅かに引き込むための電圧変化プロセスを加えたり、第2電圧変化プロセス404'の後に別の電圧変化プロセスを加えてもかまわない。同様に、小滴吐出用の波形としては、前記圧力室の体積を膨張させる方向に電圧を印加する第1電圧変化プロセスと、前記圧力室の体積を圧縮する方向に電圧を印加する第2電圧変化プロセスとを少なくとも含めば、図40(a)と異なる形状の駆動波形を用いてもかまわない。例えば、第3電圧変化プロセス403及び第4電圧変化プロセス404を有しない駆動波形としたり、第1電圧変化プロセス401の直前に、メニスカスの初期状態を制御するための別の電圧変化プロセスを加えてもかまわない。

【0151】図41は、本実施形態例で用いた駆動回路の基本構成を示した図である。滴径変調方式による画像記録を実行する際には、各圧力室に対応した圧電アクチュエータに、図40に示した駆動電圧波形を各圧力室毎に切り替えながら印加し、吐出させるインク滴の滴径を変化させる。本実施形態例では、図40(a)～(c)に示した3種の駆動電圧波形を発生させるために3種類の波形発生回路411、411'、411''を備えており、各波形は増幅回路412、412'、412''によって増幅される。記録時には、画像データに基づいて、圧電アクチュエータ414、414'、414''に印加される駆動電圧波形がスイッチング回路413、413'、413''によって切り替えられ、所望滴径のインク滴が吐出される。

【0152】以上述べた本実施形態例のインクジェット

記録ヘッドを用いてインク滴の吐出実験を行った。図40(c)に示した駆動波形( $V_{1'} = 30V$ )を圧電アクチュエータ27に印加した結果、各ノズル10から滴体積20p1のインク滴が安定して吐出されることが確認された。すなわち、音響容量 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} m^5/N$ の条件を満たす圧電アクチュエータ27を用いることによって、15p1を超える大滴の吐出が可能となることが実験的に確認できた。また、リフィル時間も約40 $\mu s$ と短かく、18kHzの高速駆動が可能であった。

【0153】本実施形態例のインクジェット記録ヘッドを用いて記録紙上に画像記録を行った結果、600dpiの低い記録解像度でも、十分な画像濃度(OD値1.3)を得ることができた。すなわち、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、滴体積20p1の大滴吐出が可能であることから、600dpiという低い記録解像度でも十分な画像濃度を得ることができ、高速記録に極めて有利なインクジェット記録ヘッドであると言える。なお、駆動波形の印加電圧を $V_{1'} = 40V$ に増加させた場合には、27p1の滴体積が得られ、300dpiの記録解像度でも十分な画像濃度(OD値1.2)を得ることができた。

【0154】図21は、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドのメニスカス振動をレーザードップラー計によって観測した結果である。圧力波の固有周期 $T_c$ は9.5 $\mu s$ と小さく抑えられていることが確認された。すなわち、音響容量 $c_0 \leq 5.5 \times 10^{-19} m^5/N$ の条件を満たす振動要素を用いることによって、微小滴吐出に適した15 $\mu s$ 以下の固有周期 $T_c$ を得ることができた。

【0155】また、図21のメニスカス振動波形から判るように、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、メニスカス振動に細かい振動が重畳せず、極めて良好なメニスカス振動を得ることができた。これは、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドが、式(8)及び $c_0 > c_i$ の条件を満たしており、前述した振動系Bの振幅を小さく抑えられているためである。メニスカスにこのような安定した振動が得られているため、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは極めて高い吐出安定性を得ることができた。

【0156】また、図40(a)に示す駆動波形で小滴吐出を行ったところ、滴体積2p1の微小インク滴を安定に吐出されることが確認された。すなわち、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、固有周期が9.5 $\mu s$ と短く、また、メニスカスの異常振動が抑制されているため、メニスカス制御方式による微小滴吐出を良好に実行することができた。つまり、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは「大滴吐出」と「小滴吐出」との両立が可能であり、図40に示した駆動電圧波形を画像パターンに応じて切り替えながら各圧電アクチュエータに印加することにより、2～20p1の広い滴

径範囲で滴径変動記録を実行することができた。

【0157】比較例として、圧電アクチュエータの厚さ  $t_p$ 、振動板の厚さ  $t_v$ 、及び圧力室幅  $W$  を変化させて、同様の特性評価を実施した。その結果、滴体積については図6の○プロットで示したように、構造解析結果と良好に一致する結果が得られた。つまり、 $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$  の範囲では15 p l以上の滴体積が得られたが、 $c_0 < 2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$  の条件では15 p l未満の滴体積しか得られず、十分な画像濃度を得ることができなかった。なお、 $c_0 < 2.0 \times 10^{-20} \text{ m}^5/\text{N}$  となる条件は、 $W = 500 \mu\text{m}$ 、 $t_v = 10 \mu\text{m}$ 、 $t_p = 45 \mu\text{m}$  や、 $W = 400 \mu\text{m}$ 、 $t_v = 5 \mu\text{m}$ 、 $t_p = 35 \mu\text{m}$  などの組み合わせである。

【0158】また、 $c_0 > 5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$  となった場合には、15 p l以上の滴体積は得られたが、固有周期  $T_0$  が15  $\mu\text{s}$  以上となり、4 p l以下の小滴吐出を実行できなくなった。 $c_0 > 5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$  となる条件は、 $W = 700 \mu\text{m}$ 、 $t_v = 10 \mu\text{m}$ 、 $t_p = 15 \mu\text{m}$  や、 $W = 1000 \mu\text{m}$ 、 $t_v = 10 \mu\text{m}$ 、 $t_p = 35 \mu\text{m}$  などの組み合わせである。

【0159】以上の結果から、15 p l以上の滴体積を確保し、かつ15  $\mu\text{s}$  以下の固有周期  $T_0$  を得るための条件として、式(10)が妥当であることが実験的に確認できた。なお、アスペクト比が略1の圧力室を用いた場合、振動要素の音響容量を  $2.0 \times 10^{-20} \leq c_0 \leq 5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$  の範囲に設定するためには、圧力室幅を300～700  $\mu\text{m}$  (平面積0.09～0.5  $\text{mm}^2$ )、振動板及び圧電アクチュエータの厚みを夫々、5～20  $\mu\text{m}$  及び15～40  $\mu\text{m}$  の範囲に設定することが望ましい。

【0160】また、アスペクト比が略1でない長方形の圧力室についてもヘッドの試作評価を行った。その結果、長方形の圧力室においても、式(10)の条件を満たせば、15 p l以上の滴体積及び15  $\mu\text{s}$  以下の固有周期を確保できることが確認できた。ただし、同じ滴体積を得るのに、2～5倍の駆動面積(圧力室の底面積)が必要となった。

【0161】例えば、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドと同じ滴体積(20 p l)を得るためには、アスペクト比5のインクジェット記録ヘッドでは圧力室サイズを300×1500  $\mu\text{m}^2$  とする必要がある。これは、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドと比較すると約2倍の圧力室面積であり、従って、ノズルの配列密度が1/2に低下したことになる。つまり、長方形形状の圧力室でも、式(10)の条件を満たせば目標とする特性は得られるが、高いノズル密度と両立させるためには、圧力室のアスペクト比を略1に設定することが最適であることが確かめられた。

【0162】なお、前述したように、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、振動要素の平面形状を略正三角形、略正方形又は略正六角形とすることができる

が、これら振動要素は、相互に隣接する各2辺の接合部分が曲線状に形成されることが望ましい。つまり、図19(a)に示すように、圧力室12の角部(隅)にR形状を付与することができる。これは、圧力室内においてインクの淀み点が発生することを防止し、気泡の排出性を向上させるためである。

【0163】すなわち、インクジェット記録ヘッドでは、圧力室内に発生させた圧力波によってインク滴の吐出を行うが、圧力室内に気泡が残存していると圧力発生効率が低下し、インク滴の体積や滴速が減少してしまう。残存気泡が大きいと、滴吐出が不可能になる場合もある。そこで、通常のインクジェット記録装置では、ノズルからインクを吸引することによって圧力室内の気泡除去を行っている。しかし、圧力室のアスペクト比が1に近く、且つ圧力室に角が存在する場合には、圧力室内にインクの淀み点(流速が遅い部分)が発生するため、気泡排出が困難になる。

【0164】そこで、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、圧力室の角部にR形状を付与することにより、淀み点の発生を防止し、気泡排出性を向上させた。実際、一定の条件(ノズルから200 mmHgの圧力で5秒間インクを吸引)でインク吸引を行った後における圧力室内の気泡残存率を調べた結果、R形状(曲線形状)を付加した本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは気泡残存率が0であったのに対し、R形状を付与しない場合には15%の圧力室で気泡残存が確認された。

【0165】本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、多数の圧力室及び圧電アクチュエータがマトリクス状に高密度配列されているため、夫々の圧電アクチュエータに電気接続を行うことが極めて困難となる。すなわち、図35に示すように、圧力室が1次元的に配列されている場合や、第1実施形態例のように2次元配列でも圧力室の数が少ない場合には、従来の電気接続方法(ワイヤボンディング等)によって容易に電気接続を行うことが可能であるが、本実施形態例のように多数の圧力室を2次元的に高密度配列した場合には、従来の電気接続方法を適用することは不可能である。

【0166】そこで、本実施形態例では、図22及び図23に示すような電気接続方法を用いた。すなわち、圧電アクチュエータに電極パッド部37(図19(b)参照)を設け、図22に示すように、この電極パッド部と配線基板(FPC基板)311とを半田バンプを介して電気接続することにより、各圧電アクチュエータに電圧を印加した。以下、本実施形態例の電気接続方法について更に詳しく説明する。

【0167】図22(a)及び(b)は夫々電気接合前/後の斜視図、図23(a)及び(b)は夫々、図22(a)のA-A線に沿った断面図、及び図22(b)のB-B線に沿った断面図である。マトリクス状に配列さ

れた圧電アクチュエータ312の対向する2面には、共通信号用電極321と個別信号用電極322とが夫々形成されており、共通信号用電極321は、導電性の振動板313と電氣的及び機械的に接合されている。共通信号用電極321はCr(0.2 $\mu$ m)とAu(0.2 $\mu$ m)との二層構造、個別信号用電極322はCr(0.2 $\mu$ m)とNi(0.6 $\mu$ m)とAu(0.2 $\mu$ m)との三層構造とした。

【0168】個別信号線(信号ライン)が形成されたフレキシブルプリント配線基板(FPC基板)311は、樹脂材からなるベースフィルム323、金属導体からなる配線パターン324、カバーレイヤ325の三層から構成されている。また、圧電アクチュエータの電極パッド部326と対応する位置には個別信号用電極327が形成されており、この電極327上には、導電性のコア材328及び導電性の接合材329で構成される半球状のバンプ330が形成されている。本実施形態例では、コア材328としてCuを用い、コア材328の表面に、電解メッキ法により接合材としてハンダを形成してバンプを作製した。本実施形態例では、バンプの径を $\phi$ 150 $\mu$ m、高さを60 $\mu$ mに設定した。

【0169】電気接合時には、FPC基板311と圧電アクチュエータ312を相互に対向させ、電極パッド部とバンプとの位置が一致するようにアライメントを取った状態で加圧・加熱を行い、接合材を電極パッド上で溶解・流動させることにより、電極パッドとバンプ330を電氣的及び機械的に接合する。振動板313及びFPC基板311上の電気接合用パッド327は制御回路(図示せず)と電氣的に接合されており、個別信号線を介して圧電アクチュエータ312に駆動電圧が印加される。

【0170】本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、バンプ330を半球状に形成している。これは、電極パッド部とバンプとのコンタクト状態を確実に且つ均一にするためである。すなわち、FPC基板311と圧電アクチュエータ312との平行度にズレが生じた場合でも、バンプを半球状としておくことで、電極パッド部とバンプ330との接触状態を均一化することができ、安定した電気接続が可能になると同時に、電気接続時における圧電アクチュエータ312の破壊を防止することができる。

【0171】また、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、配線基板に柔軟性の高いFPC基板311を用いているが、これも、電極パッド部とバンプ330との間で確実なコンタクトを確保するためである。つまり、配線基板を柔軟性の低い剛体材料で構成すると、圧電アクチュエータが接合された流路板の反りや圧電アクチュエータの厚さのバラツキによって、部分的に電極パッド部とバンプ330との間にコンタクト不良が発生し易い。一方、配線基板を柔軟性の高い材料で構成する

と、配線基板の変形によって上記の反りや厚さばらつきを吸収することができ、全ての電気接続部分で均一なコンタクトを確保することができる。

【0172】また、配線基板に柔軟性の高い材料を用いると、圧電アクチュエータ312を駆動した際に、バンプ330と配線基板311との間に発生する応力を低減することができる。すなわち、圧電アクチュエータ312を駆動すると、電極パッド部も多少変位するため、電極パッド部上のバンプ330も一緒に変位する。このとき、配線基板に剛性の高い基板を用いていると、電極パッド部、バンプ、及び配線基板の夫々の間で大きな応力が発生し、電気接続部の破断を生じさせるなど、電気接続部の信頼性を大きく低下させる原因となる。これに対し、本実施形態例のように配線基板に柔軟性の高い材料を用いれば、バンプの変位に応じて配線基板が変形できるため、応力の発生を抑制することができ、信頼性の高いインクジェット記録ヘッドを実現することが可能となる。

【0173】更に、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、バンプ440の内部にコア材328を挿入している。これにより、電気接続後において圧電アクチュエータ312とFPC基板311との間に間隙を形成することが可能になるので、圧電アクチュエータ312がFPC基板に拘束されることなく自由に撓み変形することが可能となる。つまり、圧電アクチュエータ312と配線基板311との接触に起因する圧電アクチュエータ312の特性不良を防止することができ、信頼性の高いインクジェット記録ヘッドを実現することが可能となる。また、圧電アクチュエータ312とFPC基板311との間に間隙が存在すると、圧電アクチュエータ312の駆動によって発生した熱を自然空冷又は強制空冷することが可能となり、温度上昇による圧電アクチュエータ特性の変化を抑制することも可能となる。

【0174】上記のような電気接続方法を用いることにより、2次元的に高密度配列された圧電アクチュエータ312に対しても確実な電気接続を可能とすることができる。すなわち、配線基板311は圧電アクチュエータ312の上方に配置されるため、信号線を配置するスペースを最大限に確保することができ、結果的にノズルの配列密度を高く設定することが可能となる。

【0175】例えば、サイズが500 $\times$ 500 $\mu$ m<sup>2</sup>の圧電アクチュエータ312を10 $\times$ 10でマトリクス状に配列する場合、FPC基板311上に50 $\mu$ mピッチの配線パターンを形成することは容易であるため、575 $\mu$ mピッチまで圧電アクチュエータ312の配列ピッチを小さく設定することができる。これは、図24

(a)及び(b)に示すようなマトリクス状配列ヘッドにおける従来の電気接続方法では実現できない数値である。

【0176】例えば、図24(b)に示すように、圧電



アクチュエータ 331 と同一平面に個別信号線 335 を形成するような従来の電気接続技術では、スクリーン印刷による最小配線ピッチが一般的に 0.3 mm 程度であるため、圧電アクチュエータ 331 の配列ピッチは約 3.6 mm が下限となる。つまり、本実施形態例のような電気接続方法は、マトリクス状配列ヘッドにおけるノズル密度を向上させる上で極めて有効な方法と言える。図中の 333、336 は夫々、配線基板を示している。

### 【0177】第3実施形態例

図 25 (a) は、本実施形態例のヘッド構造を示す平面図である。本実施形態例のインクジェット記録ヘッドは、基本構造は第 1 実施形態例とほぼ同じであるが、圧電アクチュエータ 241 の幅  $W_p$  を圧力室 242 の幅  $W$  よりも小さく設定している点に特徴を有する。すなわ \*

$$W_p \leq (W - 2\delta) \quad \text{又は} \quad W_p \geq (W + 2\delta)$$

(11)

【0179】上記の条件下で圧電アクチュエータの位置ずれに対するロバスト性（鈍感さ）が向上する理由は、圧電アクチュエータ端部の支持条件が常に一定となるためである。すなわち、図 25 (a) のように、 $W_p \leq$

( $W - 2\delta$ ) の条件を満たすように圧電アクチュエータ幅を圧力室幅よりも小さく設定すれば、 $\pm\delta$  の位置ずれが発生しても圧電アクチュエータの駆動部 243 が圧力室 242 の隔壁上に重なることはない。そのため、駆動部 243 の端部は常に回転支持条件として保たれるため、位置ずれが発生しても圧電アクチュエータの変形のしやすさが大きく変化することがなく、音響容量  $c_o$  はほぼ一定の値となる。

【0180】一方、図 25 (b) のように、 $W_p \geq (W + 2\delta)$  の条件を満たすように圧電アクチュエータ幅を圧力室幅よりも大きく設定すれば、位置ずれが発生しても駆動部 243 が圧力室 242 の隔壁上に常に重なっているため、駆動部端部は常に固定支持条件として保たれ、位置ずれが発生しても音響容量  $c_o$  が大きく変化することはない。

※

$$0.9(W - 2\delta) \leq W_p \leq (W - 2\delta)$$

(12)

【0184】本実施形態例では、圧電アクチュエータの接合時に発生する最大位置ずれ量  $\delta$  が  $20 \mu\text{m}$  であったため、 $W_p$  を  $460 \mu\text{m}$  に設定した（圧力室幅  $W$  は  $500 \mu\text{m}$ ）。すなわち、 $\pm 20 \mu\text{m}$  の位置ずれが発生しても、吐出効率に大きな影響が発生しないように設定した。

【0185】実際に複数の記録ヘッドを作製して吐出効率（インク滴体積）のばらつきを調べた結果、 $\delta = 20 \mu\text{m}$  の位置ずれが発生したヘッド間においても、吐出効率の差が 5% 以下に収まることが確認された。また、位置ずれを故意に  $30 \mu\text{m}$  以上に増加させて評価を行ったところ、吐出効率に 10% 以上の差が発生することが確認された。つまり、式 (12) の条件を満足することによって、位置ずれに対するロバスト性を向上できることが確認できた。

50

\* ち、圧電アクチュエータ 241 の幅  $W_p$  を圧力室幅  $W$  よりも小さく設定することにより、圧電アクチュエータを振動板上に接合する際に位置ずれが発生しても、振動要素の音響容量  $c_o$  が大きく変動するのを防ぐことができ、滴体積及び固有周期の変化を最小に抑えることが可能となる。

【0178】図 26 は、圧力室 242 と圧電アクチュエータ 241 の駆動部 243（実際に撓み変形する部分）の中心位置ずれを  $\delta [\mu\text{m}]$  としたときに、圧電アクチュエータ 241 の幅  $W_p$  によって音響容量  $c_o$  にどれだけの変化が発生するかを調べた結果である。この結果より、 $W_p$  を以下の条件（式 (11)）を満足するように設定すれば、滴体積の変化を小さく抑制できることが明らかになった。

※ 【0181】以上のように、位置ずれが発生しても駆動部端部の支持条件が一定に保たれるように、圧電アクチュエータ 241 の幅  $W_p$  を式 (11) の条件を満足するように設定すれば、位置ずれによる音響容量  $c_o$  の変動を最小限に抑えることができ、位置ずれに対するロバスト性を向上させることが可能となる。

【0182】ただし、 $W_p \geq (W + 2\delta)$  として駆動部端部を固定支持条件とすると、圧電アクチュエータの変形が端部によって拘束されるため、回転支持条件の場合と比較すると  $c_o$  が大幅に減少する。また、 $W_p \leq (W - 2\delta)$  の場合にも、 $W_p$  が小さすぎると吐出効率が低下してしまう（実質的な駆動面積が低下してしまうため）。

【0183】図 27 は、吐出効率とバラツキとの関係を調べた結果である（ $\delta = 20 \mu\text{m}$ ）。この結果から、位置ずれに対するロバスト性を確保し、且つ高い吐出効率を得るためには、以下の条件式を満足する必要があることが判った。

【0186】なお、圧電アクチュエータの位置ずれ量  $\delta$  は、圧電アクチュエータの接合時のアライメント方法に依存するが、アライメントマークを基準とした一般的なアライメント方法を用いた場合、 $\pm 10 \sim \pm 30 \mu\text{m}$  程度となる。従って、駆動部の幅  $W_p$  は、圧力室幅  $W$  よりも  $\pm 10 \sim \pm 30 \mu\text{m}$  程度小さく設定することが最適である。

【0187】また、図 25 (b) のように、圧力室幅  $W$  が  $500 \mu\text{m}$  であるのに対し、 $W_p$  を  $540 \mu\text{m}$  に設定した圧電アクチュエータについても評価を行った。この場合には、 $\pm 20 \mu\text{m}$  の位置ずれが発生しても、駆動部の境界条件が常に固定端となるため、音響容量  $c_o$  の変動を抑制することができる。実際に、位置ずれによる滴体積の変化を調べた結果、吐出効率の差が 5% 以下と小さいことが確認された。ただし、駆動部の境界条件が固

定端のため、図25(a)の構造に比べると吐出効率が1/5以下であり、大滴吐出には不利な構造であると言える。

【0188】本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、振動要素の音響容量 $c_0$ は $3.5 \times 10^{-20} \text{ m}^6/\text{N}$ 、イナータンス $m_0$ は $1.0 \times 10^6 \text{ kg/m}^4$ と求められた。つまり、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドも式(8)及び式(10)の条件を満足しており、その結果、滴体積19pl( $V_1=30\text{V}$ )、固有周期 $9.8 \mu\text{s}$ を得ることができた。

#### 【0189】第4実施形態例

図28は、本実施形態例のヘッド構造を示す平面図である。本実施形態例のインクジェット記録ヘッドは、基本構造は第3実施形態例とほぼ同様であるが、圧電アクチュエータの形状を、駆動部273、電極パッド部274、及びブリッジ部275から構成している点に特徴がある。

【0190】すなわち、圧電アクチュエータ271は、貫通穴278の形成により駆動部273と電極パッド部274とに分離され、駆動部273の変位の小さい部分でブリッジ部275を介して接続されている。これにより、圧電アクチュエータ271の電極パッド部274による変位拘束が低減されるので、吐出効率の高いインクジェット記録ヘッドを実現することができる。

【0191】図28の等高線276で表わしたように、アスペクト比が1に近い圧力室272に撓み変形する圧電アクチュエータ271を取り付けた場合、振動要素は球面に近い形状に変形する。そのため、振動部の中心から離れた部分ほど変位量が小さくなる。圧電アクチュエータ271が多角形(四角形、六角形など)の場合、中心から離れた部分とは振動部273の角の領域となる。従って、本実施形態例のように、振動部273の角部にブリッジ部275を連結することにより、圧電アクチュエータ271の変位拘束を最小化しながら駆動部273への電圧印加(電気接続)を可能にすることができる。

【0192】実際に、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドを吐出評価した結果、図25の構造に比べ、吐出効率を20%増加することができた。すなわち、 $V_1=30\text{V}$ で23plの滴体積を得ることができた。なお、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、振動要素の音響容量 $c_0$ は $3.7 \times 10^{-20} \text{ m}^6/\text{N}$ 、イナータンス $m_0$ は $1.0 \times 10^6 \text{ kg/m}^4$ であり、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドも式(8)及び式(10)の条件を満足している。

【0193】図29は、ブリッジ部の幅 $W_b$ と吐出効率との関係を、構造解析及び実際の吐出評価によって調べた結果である。ブリッジ部の幅が小さいほど変位拘束力が小さくなり、吐出効率が増加する傾向が見て取れる。ただし、ブリッジ部の幅を過小とすると、製造時又は使用時においてブリッジ部にクラックが発生し、正常なイン

ク滴吐出を実行できなくなる恐れがある。従って、ブリッジ部の幅 $W_b$ は駆動部の幅 $W_p$ に対して1/2以下、1/4以上に設定することが望ましい。

【0194】圧電アクチュエータ271の形状は、図28のような形状に限定されるものではなく、図30

(a)～(d)に示すように、種々の形状を適用することが可能である。つまり、ブリッジ部275が駆動部273の中心から離れた部分に連結されていれば、ブリッジ部275や電極パッド部274の形状はいかなる形状であつてもよく、また、ブリッジ部275の個数も1本又は複数であつてもよい。

【0195】また、本実施形態例のように、圧電アクチュエータ271の駆動部273と電極パッド部274とを分離することは、圧電アクチュエータ271の電気接続を行う上でも有利である。すなわち、図25に示したような圧電アクチュエータ241の形状では、駆動部243と電極パッド部244が分離されていないため、図22及び図23に示したFPC基板を使用した電気接続方法を用いた際に、図23(a)、(b)に示す接合材329が駆動部領域に流入し、接合材が圧電アクチュエータの変形を拘束する恐れがある。特に、圧力室242を高密度配列した場合には、駆動部と電極パッド部の距離が短くなるため、そうした接合材流入の問題が発生しやすくなる。

【0196】一方、本実施形態例のように、駆動部と電極パッド部を分離した形状にすると、駆動部への接合材流入を有効に抑制することができるため、信頼性の高いインクジェット記録ヘッドを実現することが可能となる。

【0197】本実施形態例では、圧電アクチュエータ271の形状が、図28及び図30に示すような複雑な形状となる。そこで、本実施形態例では、圧電アクチュエータの加工にサンドブラスト加工を用いた。これにより、複雑な形状の圧電アクチュエータを簡易かつ短時間で精密に加工を行い、低コストで高密度のインクジェットを製造することが可能となる。

【0198】本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、図28に示すように、隣り合う圧電アクチュエータ271の間にダミーパターン277を配設した。これは、サンドブラスト加工時に発生するサイドエッチングの影響を防止し、圧電アクチュエータ271に高い寸法均一性を確保するためのものである。

【0199】すなわち、圧電アクチュエータ271をサンドブラスト加工すると、圧電アクチュエータ271の厚さ方向に対する加工(エッチング)の進行と並行して、圧電アクチュエータ271の幅方向へも加工が進行する(以下、サイドエッチングと呼ぶ)。このサイドエッチングは、サンドブラスト加工を行う際に、ブラスト粒子が圧電プレート(271)の側面に対しても衝突するために発生する。そして、このサイドエッチングの加工速度(加



エレート)は、圧電プレートに形成する加工溝の幅に依存している。つまり、圧電アクチュエータ 271 の脇に形成される加工溝の幅が大きいと、サイドエッチングが速い速度で進行しやすく、逆に加工溝の幅が小さいとサイドエッチングは発生し難くなる。

【0200】このように、サイドエッチングの進行速度が加工溝幅によって変化するため、個々の圧電アクチュエータ 271 を取り囲む加工溝幅が一定でなければ、サイドエッチングの進行速度にバラツキが生じ、その結果、圧電アクチュエータ 271 のサイズが不揃いとなってしまう。圧電アクチュエータ 271 のサイズは、吐出特性に大きく影響を及ぼすため、上記のような不均一なサイドエッチングは防止する必要がある。

【0201】そこで、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、相互に隣接する圧電アクチュエータ 271 の間にもダミーパターン 277 を形成し、各圧電アクチュエータ 271 を取り囲む加工溝 279 の幅がほぼ一定(約  $80\mu\text{m}$ )になるようにした。この構成により、全ての圧電アクチュエータ 271 を同じ条件で加工することができ、寸法均一性の高い圧電アクチュエータ 271 を実現することができた。具体的には、圧電アクチュエータ 271 の幅  $W_p$  の精度を  $\pm 5\mu\text{m}$  以下に抑えることができた。ダミーパターン 277 を設けずにサンドブラスト加工した場合には、圧電アクチュエータ 277 の幅  $W_p$  には  $\pm 20\mu\text{m}$  以上のばらつきが発生したとことと比較すると、ダミーパターン 277 を設けることの効果は非常に高いと言える。

【0202】また、上記と同じ理由で、図 31 に示すように、複数の圧電アクチュエータ 231 が配列された領域の外周部にもダミーパターン 232 を配設した。すなわち、多数の圧電アクチュエータ 231 が配列された領域の外周部に位置した圧電アクチュエータ 231 では、サイドエッチングが著しく発生するため、圧電アクチュエータとしての寸法精度が特に得にくい。そのため、配列された圧電アクチュエータ群を取り囲むようにダミーパターン 232 を配設することにより、外周部に位置した圧電アクチュエータ 231 においても高い寸法均一性を確保することが可能となる。なお、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、外周部のダミーパターン 232 を図 31 のように一体構造としたが、細分化されたダミーパターンを並べる形態としてもかまわない。

【0203】上記ダミーパターンを適用した結果、本実施形態例のインクジェット記録ヘッドでは、ヘッド内の 260 個のイジェクタにおいて、吐出特性(滴体積、滴速)のばらつきを  $\pm 5\%$  以下に抑えることが可能になった。また、複数の記録ヘッド間で特性比較をした結果、記録ヘッド間での特性バラツキも  $\pm 6\%$  以下に収まることが確認され、ダミーパターン 232 を用いた上記圧電アクチュエータ構造が、ヘッド特性の均一化に極めて有効であることが実証された。

#### 【0204】第 5 実施形態例

図 42 は、本発明に係るインクジェット記録装置の実施形態例を示す図である。本実施形態例のインクジェット記録装置 420 は、インクジェット記録ヘッドを搭載するキャリッジ 421、矢印 428 で示す主走査方向にキャリッジ 421 を走査するための主走査機構 422、及び、記録媒体としての記録用紙 424 を、矢印 429 で示す副走査方向に搬送するための副走査機構 423 を含む構成されている。

【0205】インクジェット記録ヘッドは、ノズルが形成された面が記録用紙 424 と対向するようにキャリッジ 421 上に搭載され、主走査方向 428 に搬送されながら記録用紙 424 に対してインク滴を吐出することにより、一定のバンド領域 427 に対して記録を行う。次いで、記録用紙 424 を副走査方向 429 に搬送し、再びキャリッジ 421 を主走査方向 428 に搬送しながら次のバンド領域を記録する。こうした動作を複数回繰り返すことにより、記録用紙 424 の全面にわたって画像記録を行うことができる。

【0206】実際に、本実施形態例のインクジェット記録装置を用いて画像記録を行い、記録速度及び画像品質の評価を行った。インクジェット記録ヘッドには、上記第 4 実施形態例で述べたヘッド構造のものを使用した。イエロー、マゼンタ、シアン、ブラックの 4 色に対応させて、1 色あたり 260 個のイジェクタを有するマトリクス状配列ヘッドをキャリッジ 421 上に並べて配置し、記録用紙 424 上で 4 色のドットを重ねあわせることにより、フルカラーの画像記録を行った。

【0207】大滴体積  $18\text{pl}$ 、小滴体積  $2\text{pl}$ 、記録解像度は  $600\text{dpi}$ 、吐出周波数は  $18\text{kHz}$  に設定して記録を行った結果、A4 サイズ ( $210\text{mm} \times 297\text{mm}$ ) の画像を約 5 秒の時間で印刷することができ、極めて高い記録速度を実現できることが実証された。また、小滴体積が  $2\text{pl}$  と小さいため、ハイライト部でも粒状性が低く抑えられ、画品質の極めて高い画像記録を実現することができた。

【0208】比較例として、ノズル数 64 個/色の従来ヘッドを用いて、同様の画像出力実験を行った。吐出可能な大滴体積は  $10\text{pl}$  が上限であったため、記録解像度は  $1200\text{dpi}$  に設定した。小滴体積は  $6\text{pl}$ 、吐出周波数は  $18\text{kHz}$  に夫々設定した。記録速度を評価した結果、A4 サイズ ( $210\text{mm} \times 297\text{mm}$ ) の画像を記録するのに約 85 秒の時間を要した。また、小滴体積が  $6\text{pl}$  と大きいため、ハイライト部で粒状性が目立ち、画品質は本実施形態例と比較すると低かった。

【0209】以上のように、本実施形態例のインクジェット記録装置では、記録ヘッドにおける振動要素の音響容量  $c_0$  が  $c_0 \geq 2.0 \times 10^{-20}\text{m}^5/\text{N}$  に設定されているため、低解像度に有利な大滴吐出が可能であり、また、吐出効率の高い正方形型の圧力室をマトリクス状に配列している

ため、ノズル数を大きく設定できる。そのため、従来のインクジェット記録装置と比較すると、記録速度を大幅に増加することが可能となる。また、本実施形態例のインクジェット記録装置では、記録ヘッドにおける振動要素の音響容量 $c_0$ が $c_0 \leq 5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ に設定されているため、メニスカス制御方式による小滴吐出を良好に実行することができ、高い画像品質を得ることができる。すなわち、本実施形態例のインクジェット記録装置では、高速記録と高画質記録を両立することが可能である。

【0210】なお、本実施形態例では、ヘッドをキャリアッジ421によって搬送しながら記録を行う形態としたが、ノズルを記録媒体の全幅にわたって配置したライン型ヘッドを用い、ヘッドを固定して、記録媒体のみを搬送しながら記録を行うなど、別の装置形態に本発明を適用することも可能である。

【0211】以上、各実施形態例について説明したが、本発明は、上記実施形態例の構成に限定されるものではない。例えば、上記実施形態例では、共通流路や圧力室をステンレス板によって形成しているが、セラミックスやガラスなど、他の材料を用いることも可能である。また、ヘッドの基本構造、即ち、ノズル、供給路、共通流路の構造や配置などは、図17及び図18に示した形態に限定されるものではなく、他の形態を用いることも可能である。

【0212】また、上記実施形態例では、圧力室の形状をすべて四角形としたが、その他の多角形（三角形、五角形、六角形など）や略円形の形状を用いても同様の効果が得られる。上記実施形態例は、全てマトリクス状配列ヘッドを対象としたが、圧力室を1次元的に配列したヘッド構造など、他のヘッド構造に対しても本発明は同様に適用することができる。更に、上記実施形態例では、圧電アクチュエータの加工方法（製造方法）にサンドブラスト加工を用いたが、ダイシング加工や、圧電材料を印刷によって振動板上に形成する方法など、他の加工法を用いることもできる。また、振動板と圧電アクチュエータは一体構造として成型することもできる。

【0213】また、上記実施形態例では、記録紙上に着色インクを吐出して文字や画像などの記録を行うインクジェット記録装置を例にとったが、本明細書におけるインクジェット記録とは、記録紙上への文字や画像の記録に限定されるものではない。すなわち、記録媒体は紙に限定されるわけではなく、また、吐出する液体も着色インクに限定されるわけではない。例えば、高分子フィルムやガラス上に着色インクを吐出してディスプレイ用のカラーフィルタを作製したり、溶融状態のハングを基板上に吐出して部品実装用のバンプを形成したりするなど、工業的に用いられる液滴噴射装置一般に対して、本発明を利用することも可能である。

【0214】本実施形態例で用いたような、平面形状が正方形の振動要素以外にも、平面形状に接する外接円の

径 $d_1$ と内接円の径 $d_2$ との比 $d_1/d_2$ を $A$ とすると、 $1 \leq A \leq 2$

を満たすような平面形状の振動要素を用いることができる。つまり、正方形では $A = \sqrt{2}$ （ $\approx 1.4$ ）であるが、正三角形では $A = 2$ 、正六角形では $A = 2/\sqrt{3}$ （ $\approx 1.2$ ）、及び真円では $A = 1$ である。これらの平面形状を有する振動要素は、その最小幅が大きく撓み易いので、その平面積をできる限り小さくしても排除体積を維持することができる。従って、ヘッドを小型・低コスト化することが可能となる。

【0215】なお、振動要素の平面形状、材質、厚さは、本実施形態例で試作したものに限定されることはなく、 $2.0 \times 10^{-20} \leq \text{音響容量 } c_0 \leq 5.5 \times 10^{-19} \text{ m}^5/\text{N}$ の条件を満たす構造であれば、その他の組み合わせであっても本発明に係る効果を得ることができる。

【0216】以上、本発明をその好適な実施形態例に基づいて説明したが、本発明に係るインクジェット記録ヘッド及びその製造方法、インクジェット記録装置、並びにインクジェット記録ヘッドの駆動方法は、上記実施形態例の構成にのみ限定されるものではなく、上記実施形態例の構成から種々の修正及び変更を施したインクジェット記録ヘッド及びその製造方法、インクジェット記録装置、並びにインクジェット記録ヘッドの駆動方法も、本発明の範囲に含まれる。

#### 【0217】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、ヘッドサイズの大型化やコストアップを回避しつつ、同一ノズルから所要サイズの「大滴」を吐出させ、且つ「ノズル密度増加」を実現して単位面積当たりのインク滴吐出効率を高めることができるインクジェット記録ヘッド、このようなインクジェット記録ヘッドを搭載したインクジェット記録装置、並びに、インクジェット記録ヘッドの製造方法及び駆動方法を得ることができる。また、同一ノズルから所要サイズの「大滴」及び「小滴」の双方を選択的に吐出させ、高速記録と高画質記録の両立を可能とするインクジェット記録ヘッドを得ることができる。更に、メニスカスの異常振動を防止し、吐出安定性の高いインクジェット記録ヘッドを実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る実施形態例のインクジェット記録ヘッドに用いられる振動要素の音響回路図である。

【図2】1個のイジェクタの等価電気回路を示す図である。

【図3】音響回路にステップ圧力を入力した際の排除体積と音響パラメータとの関係を示すグラフであり、

(a)は排除体積とイナータンス、(b)は排除体積と音響容量、(c)は排除体積と音響抵抗との関係を夫々示す。

【図4】 $c_0$ と $\phi \cdot c_0$ との関係を示す図である。

【図 5】 $c_0$ と $\phi \cdot c_0$ との関係を示す別のグラフである。

【図 6】 $c_0$ と $\phi \cdot c_0$ との関係を示す更に別のグラフである。

【図 7】圧力室のアスペクト比の影響を示す図である。

【図 8】アスペクト比の定義を説明するための図である。

【図 9】図 2 (a) の等価回路の周波数応答を示す図である。

【図 10】1 個のインジェクタの等価電気回路を示す図である。

【図 11】振動要素の音響容量 $c_0$ と圧力室の音響容量 $c_1$ の適正バランスを説明するための図である。

【図 12】本発明に係る第 1 実施形態例のインクジェット記録ヘッドを展開した状態で示す斜視図である。

【図 13】図 12 の構成を一部透視した状態で示す平面図である。

【図 14】振動板及び圧電アクチュエータの厚さと音響容量との関係を示すグラフである。

【図 15】第 1 実施形態例のインクジェット記録ヘッドの製造方法を示す斜視図であり、(a)～(d)は各工程を段階的に示す。

【図 16】インク滴の吐出実験で用いた駆動電圧波形を示すグラフである。

【図 17】本発明に係る第 2 実施形態例のインクジェット記録ヘッドのプレート構成を示す斜視図である。

【図 18】第 2 実施形態例のインクジェット記録ヘッドの断面図である。

【図 19】第 2 実施形態例のインクジェット記録ヘッドの平面形状を示す図である。

【図 20】大滴吐出用の駆動波形の一例を示す図である。

【図 21】本発明のインクジェット記録ヘッドのメニスカス振動を示す図である。

【図 22】本発明のインクジェット記録ヘッドの電気接続方法を示す図である。

【図 23】本発明のインクジェット記録ヘッドの電気接続方法を示す断面図である。

【図 24】マトリクス状配列ヘッドにおける従来の電気接続方法を示す図である。

【図 25】本発明に係る第 3 実施形態例のインクジェット記録ヘッドの圧電アクチュエータの平面形状を示す図である。

【図 26】第 3 実施形態例の圧電アクチュエータの位置ずれによる $c_0$ の変化を示す図である。

【図 27】第 3 実施形態例の圧電アクチュエータの位置ずれによる吐出効率と滴体積ばらつきの変化を示す図である。

【図 28】本発明に係る第 4 実施形態例のインクジェット記録ヘッドにおける圧電アクチュエータの平面形状を

示す図である。

【図 29】第 4 実施形態例のブリッジ幅と吐出効率の関係を示す図である。

【図 30】第 4 実施形態例を適用可能な圧電アクチュエータ形状の一例を示す図である。

【図 31】第 4 実施形態例のインクジェット記録ヘッドにおける圧電アクチュエータのプラスト加工パターンの一例を示す図である。

【図 32】メニスカス制御方式を用いた際のメニスカスの挙動を説明するための第 2 の模式図である。

【図 33】圧力波の固有周期と吐出可能な最小滴径の関係を示す図である。

【図 34】従来のインクジェット記録ヘッドの基本構造を示す断面図である。

【図 35】マルチノズル型インクジェット記録ヘッドの基本構造を示す図である。

【図 36】マトリクス配列型のインクジェット記録ヘッドの基本構造を示す図である。

【図 37】小滴吐出用の駆動波形の一例を示す図である。

【図 38】メニスカス制御方式を用いた際のメニスカスの挙動を説明するための模式図である。

【図 39】メニスカス振動の観測結果の一例（正常／異常）を示す図である。

【図 40】本発明に係る実施形態例で使用した駆動電圧波形を示す図である。

【図 41】本発明に係る実施形態例で使用した駆動回路の構成を示す図である。

【図 42】本発明に係るインクジェット記録装置の一実施形態例を示す図である。

【符号の説明】

13：ノズル

14：圧力室

16：圧電アクチュエータ

29：ノズルプレート

38：インクプールプレート

38a：連通孔

38b：インクプール

39：インク供給プレート

39a：連通孔

39b：インク供給路

40：圧力室プレート

41：振動板

42：圧電材料プレート

43：電極膜

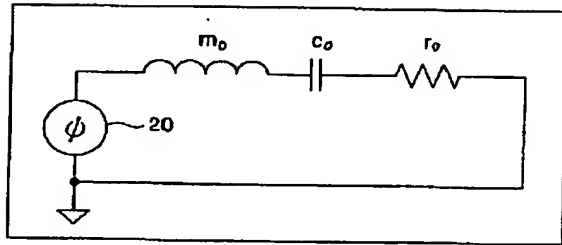
44：粘着発泡テープ

45：固定板

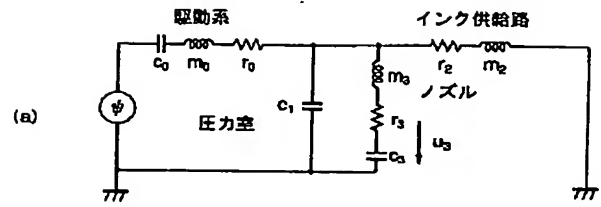
46：フィルムマスク

47：露光マスク

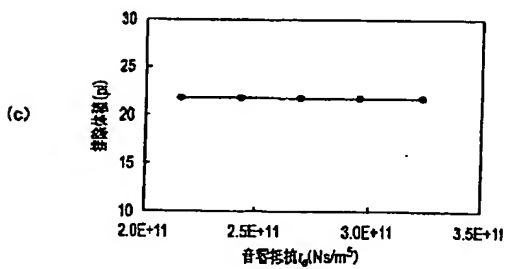
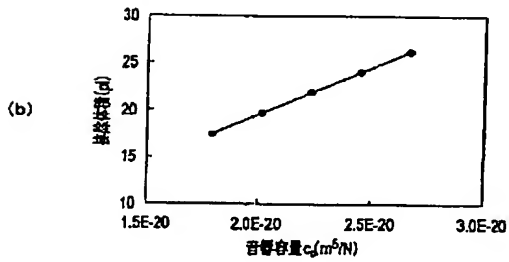
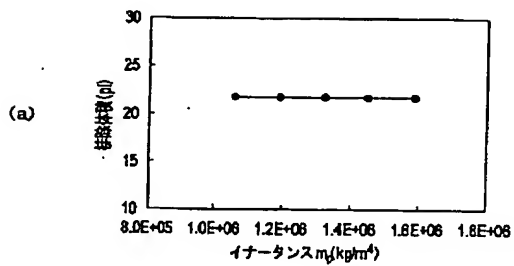
【図1】



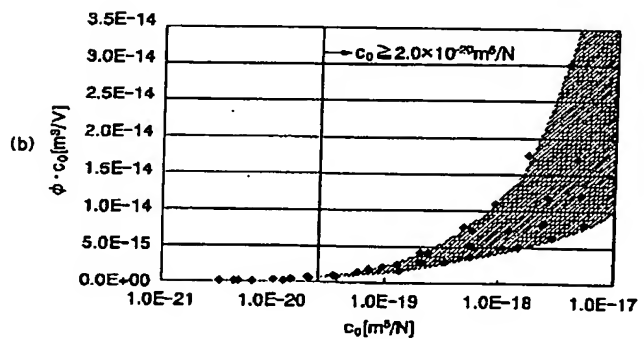
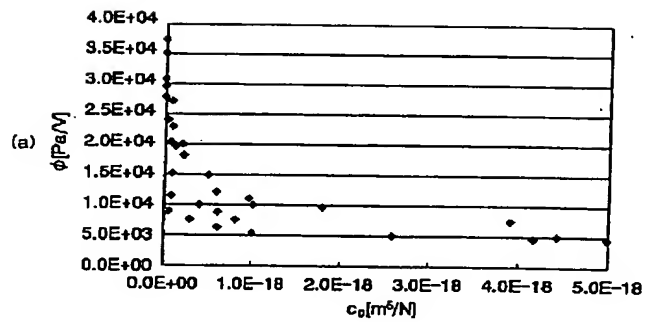
【図2】



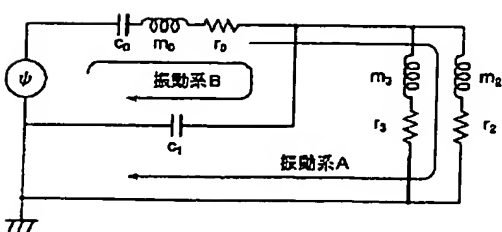
【図3】



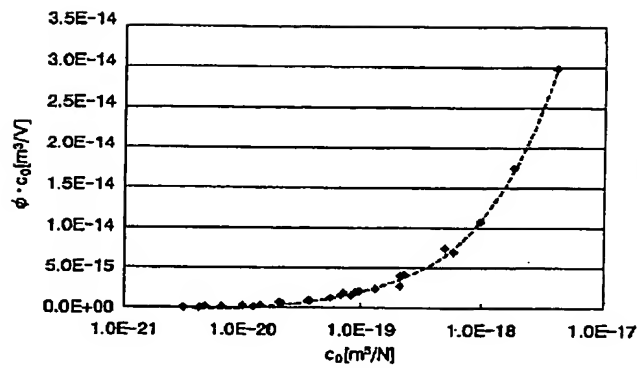
【図4】



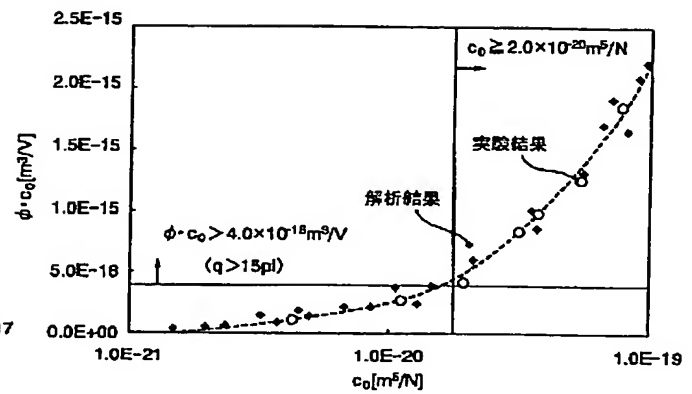
【図10】



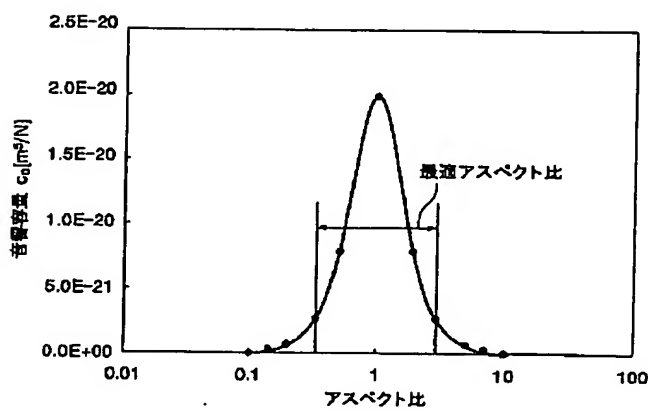
【図5】



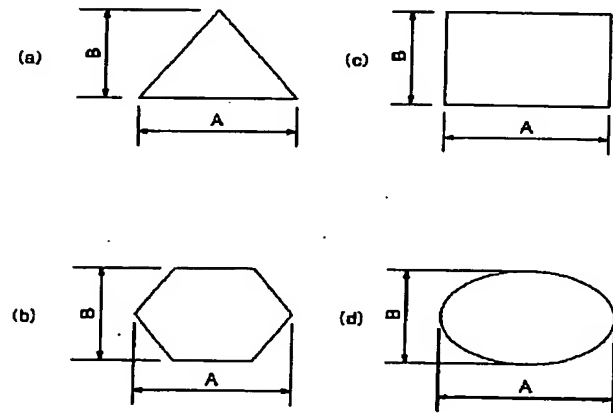
【図6】



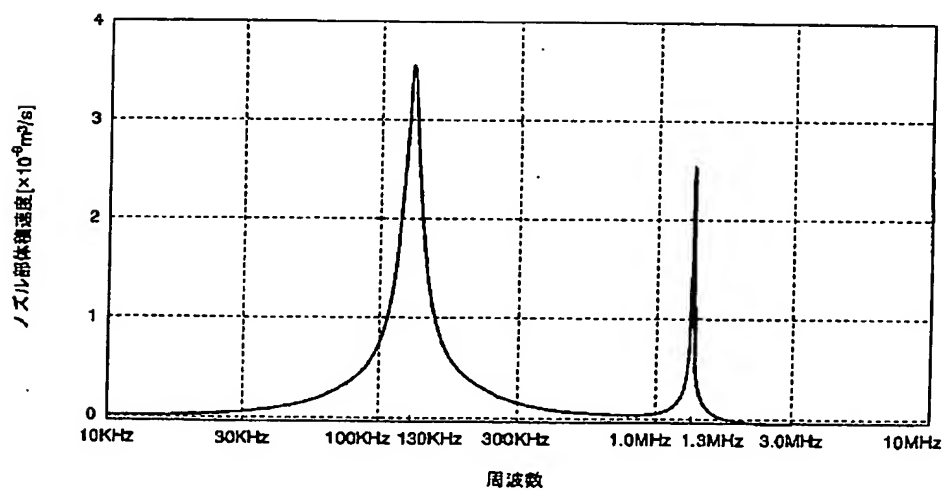
【図7】



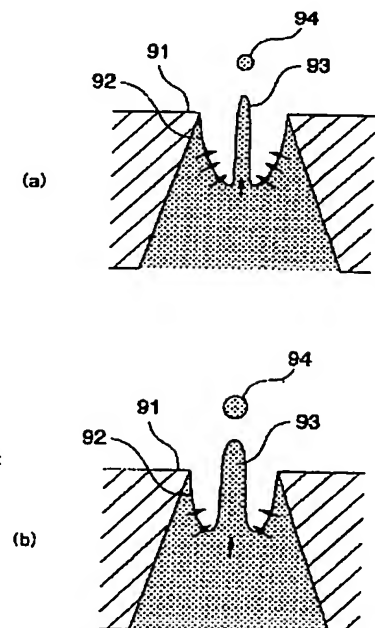
【図8】



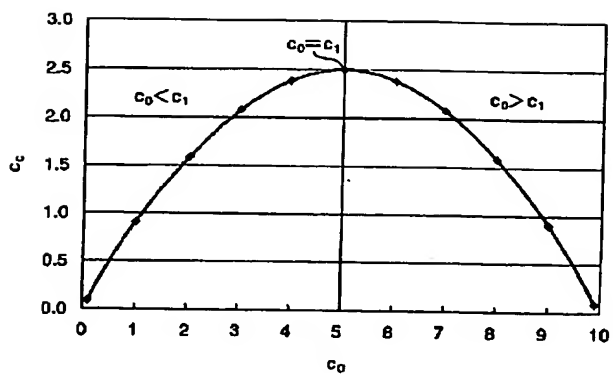
【図9】



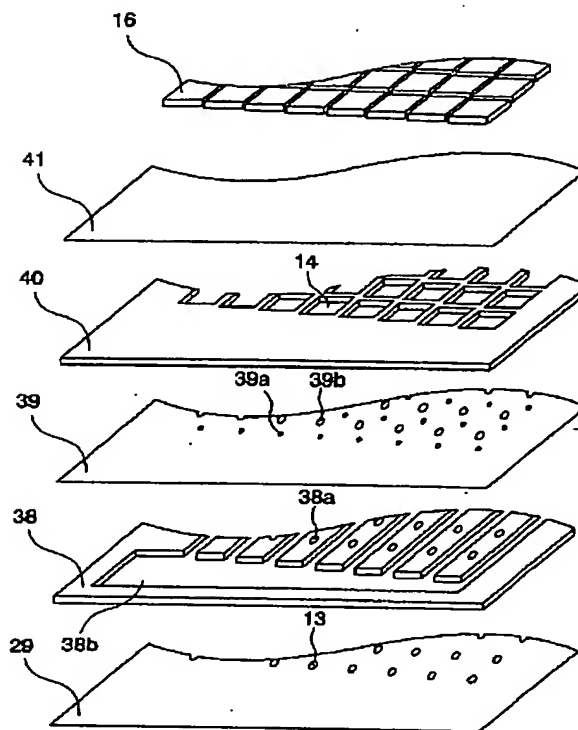
【図32】



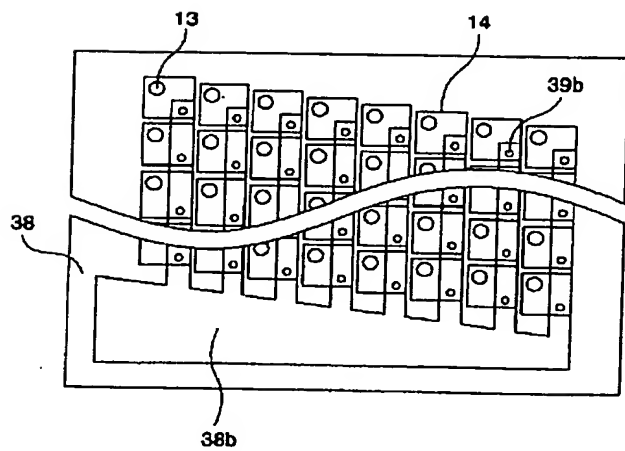
【図11】



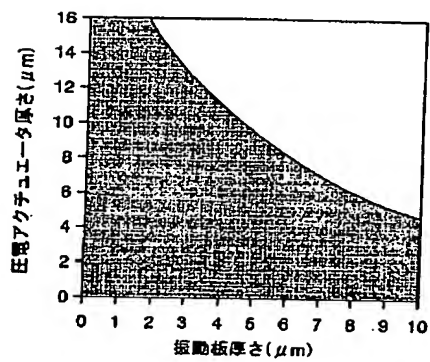
【図12】



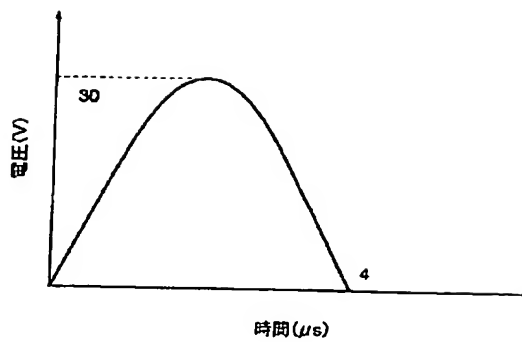
【図13】



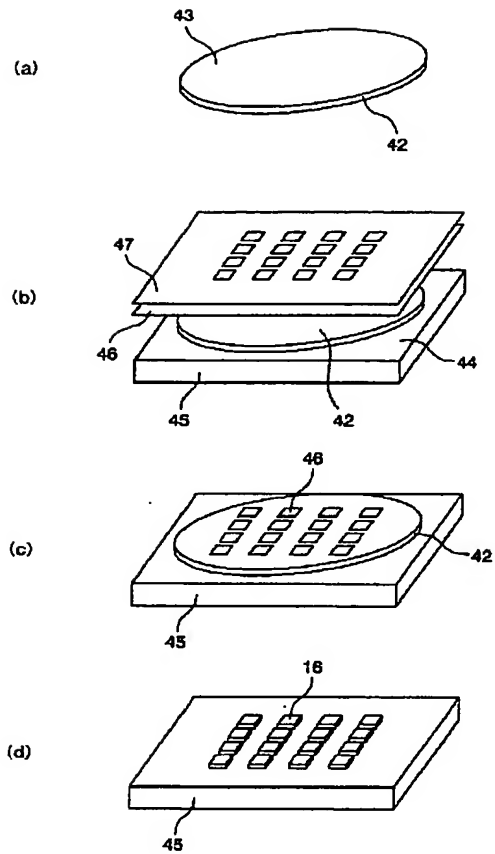
【図14】



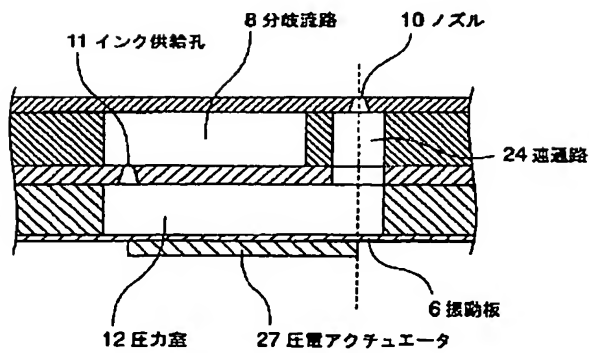
【図16】



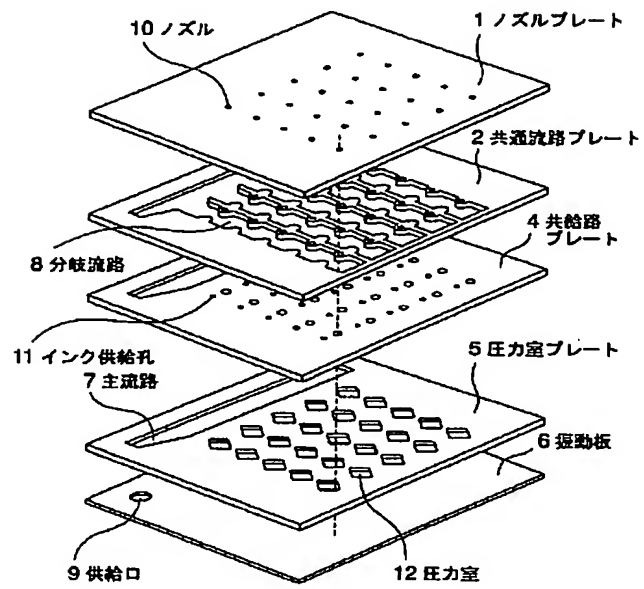
【図15】



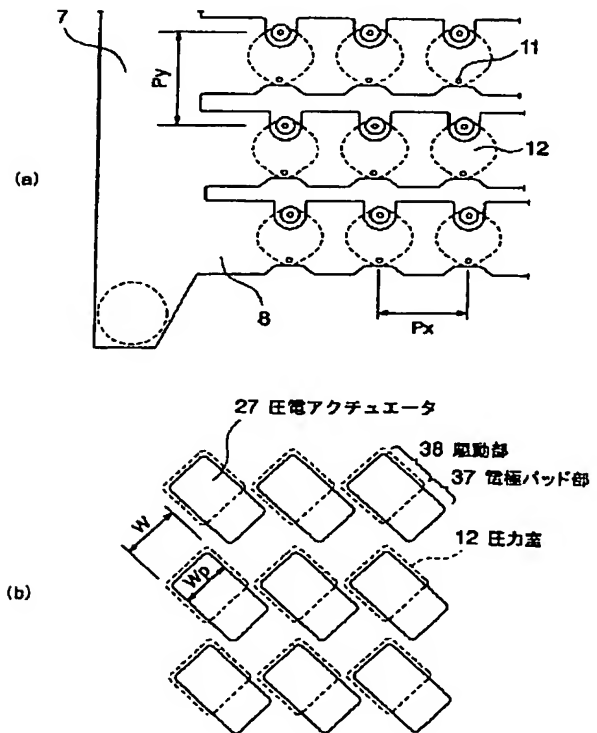
【図18】



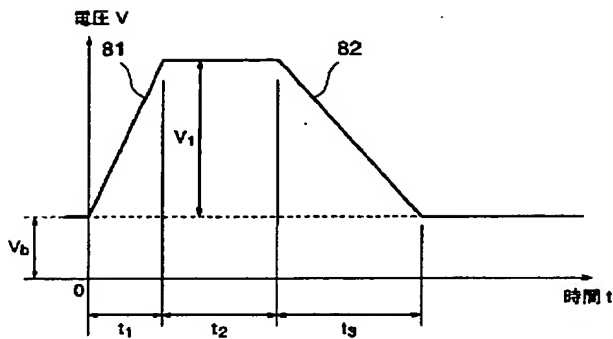
【図17】



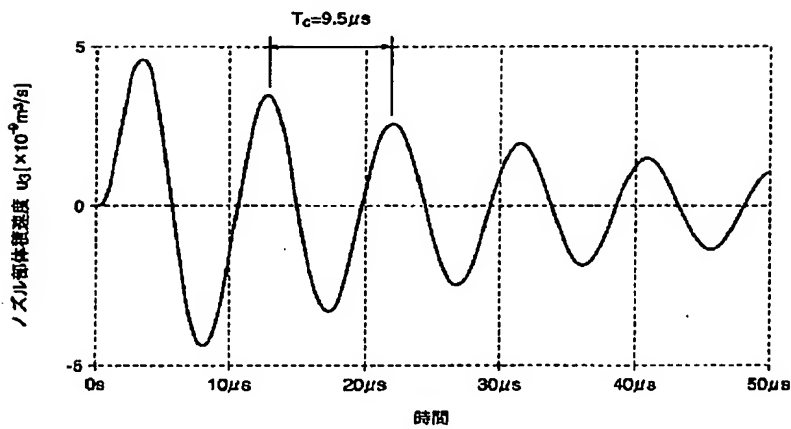
【図19】



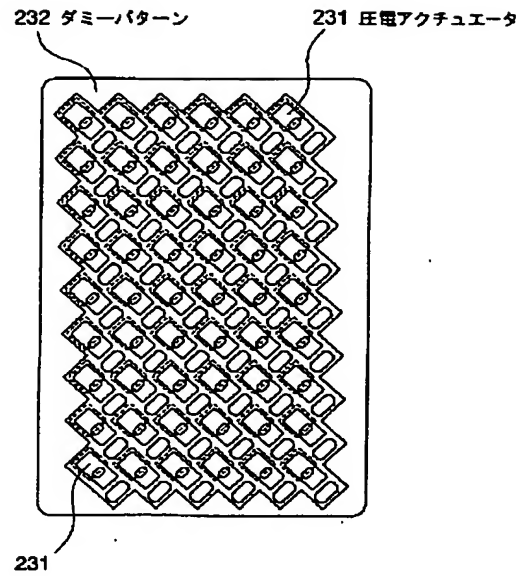
【図20】



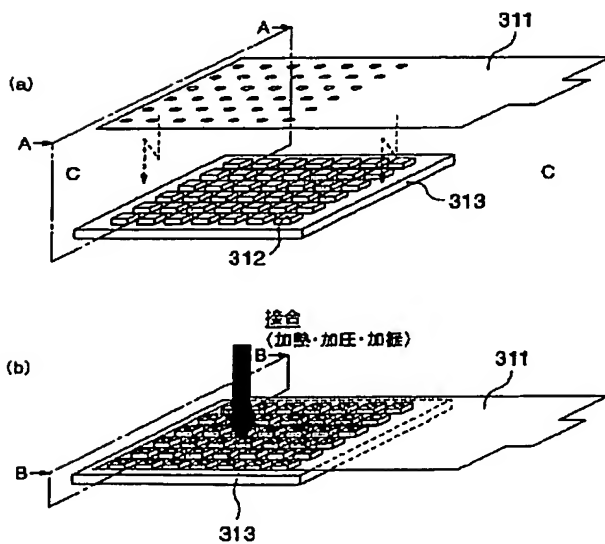
【図21】



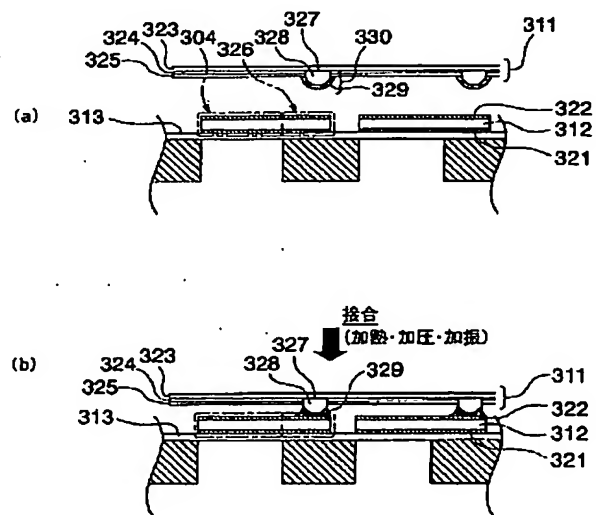
【図31】



【図22】

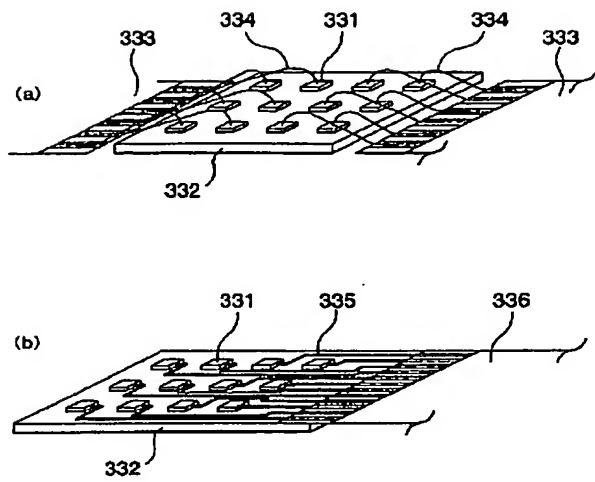


【図23】

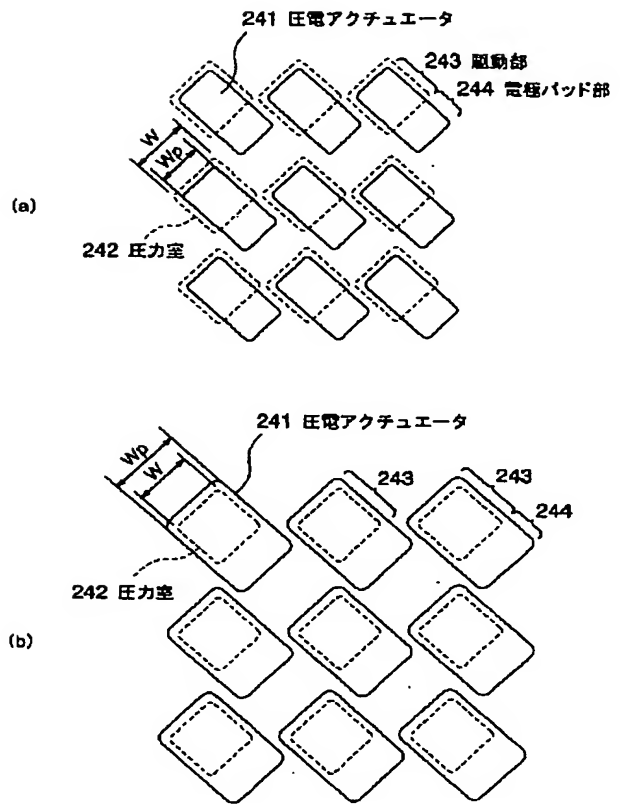




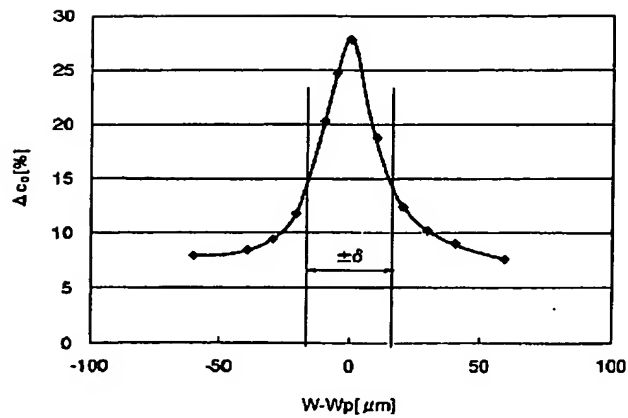
【図24】



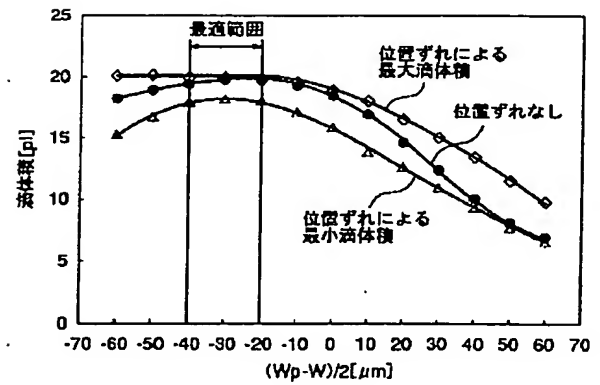
【図25】



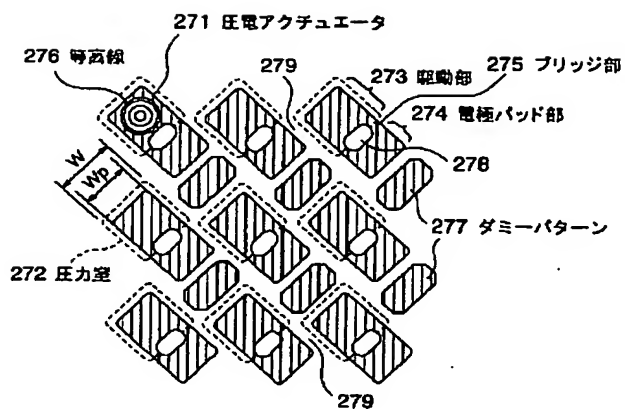
【図26】



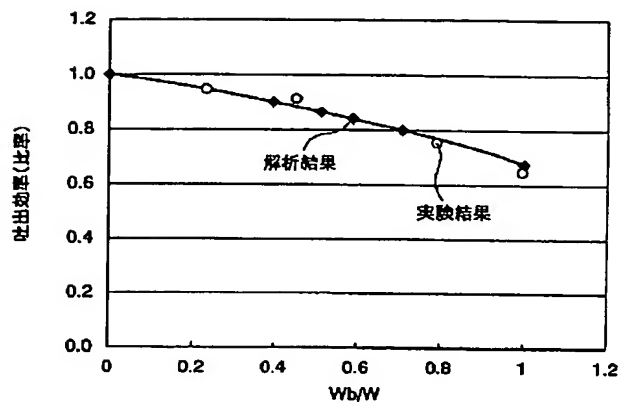
【図27】



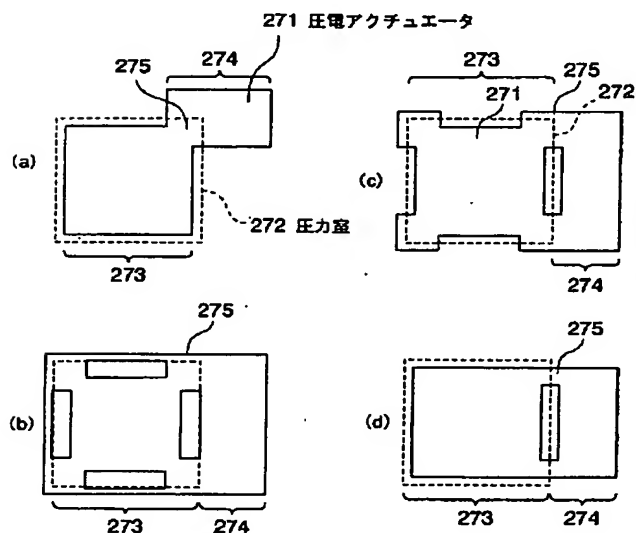
【図28】



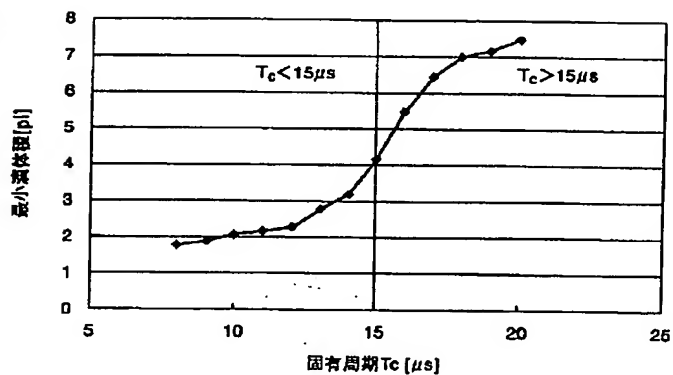
【図29】



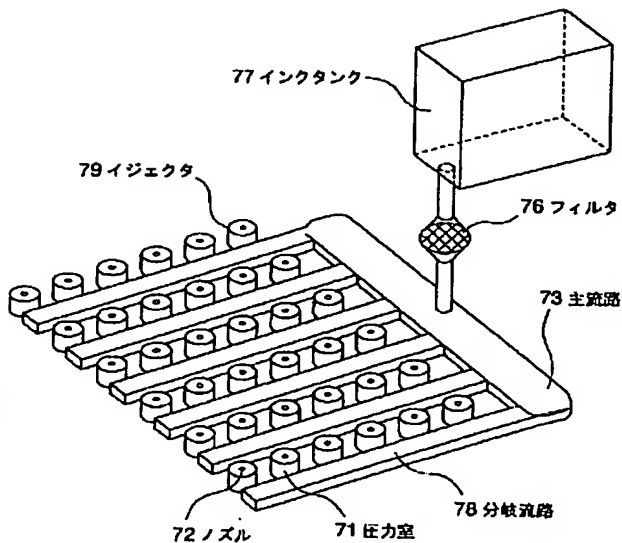
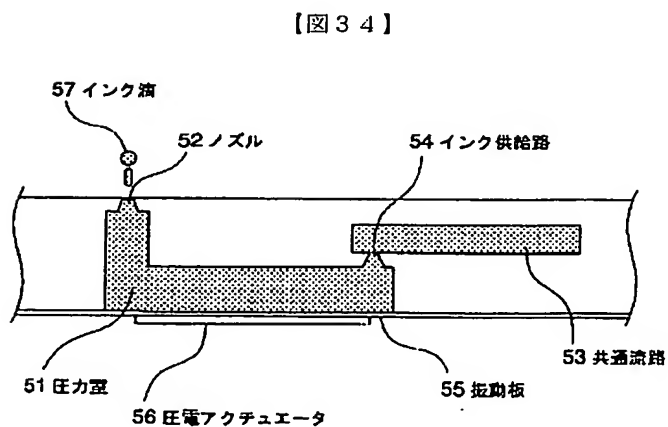
【図30】



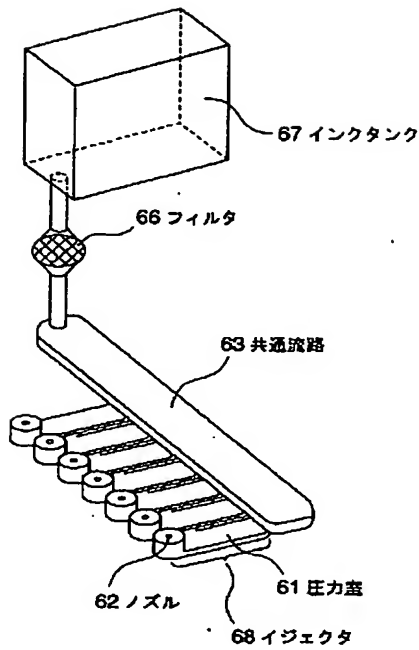
【図33】



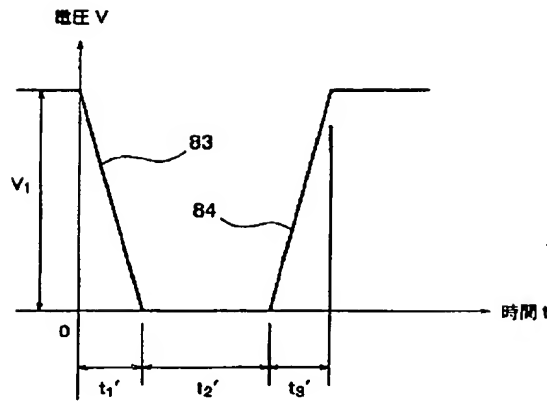
【図36】



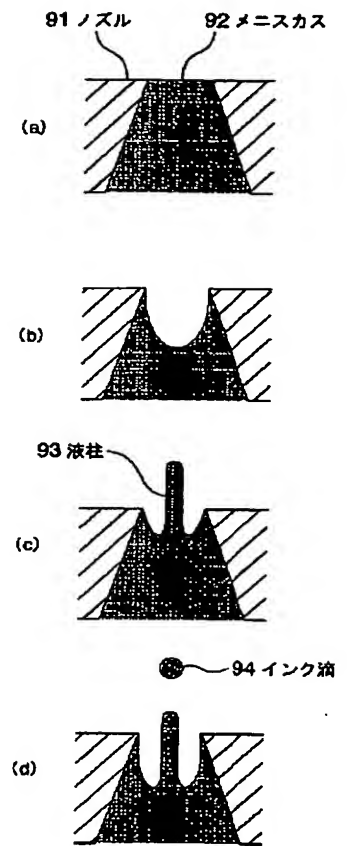
【図35】



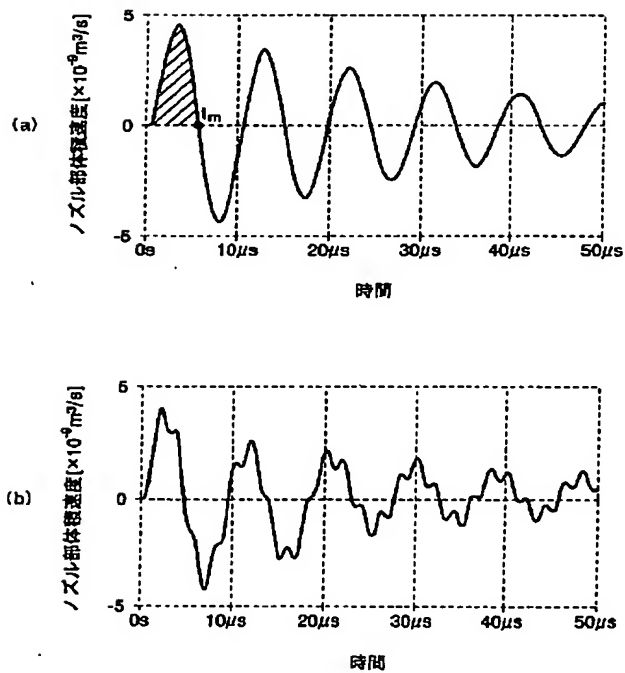
【図37】



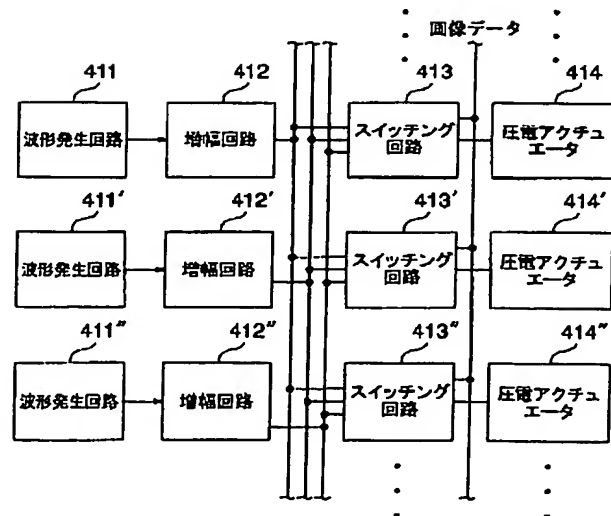
【図38】



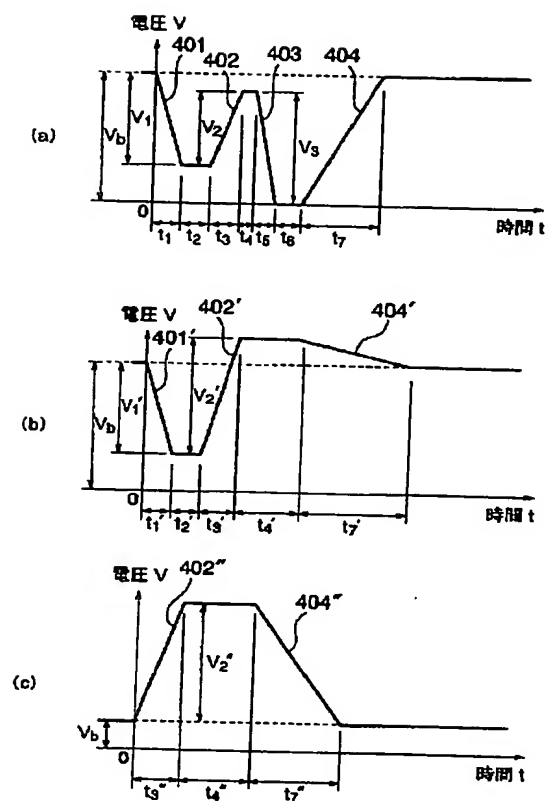
【図39】



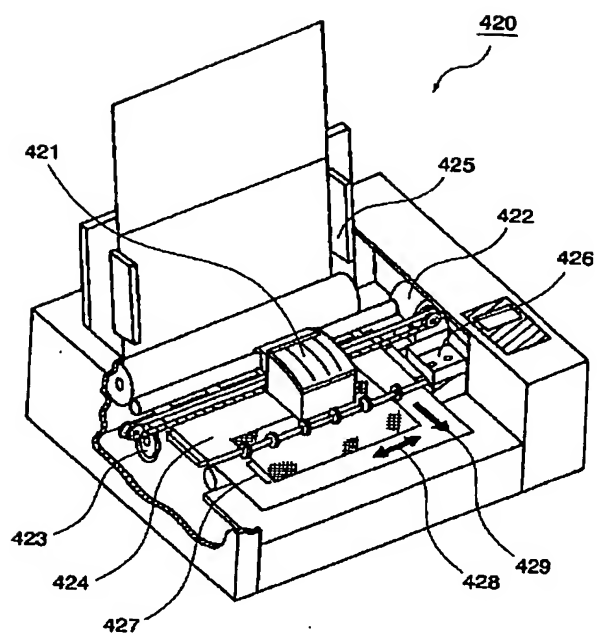
【図41】



【図40】



【図42】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2C057 AF06 AF36 AF38 AF39 AF40  
AF41 AF51 AF78 AG16 AG44  
AG52 AG85 AG90 AM15 AM21  
AM22 AP22 AP25 AQ03 AR06  
AR08 BA03 BA14 CA01